Guia do Usuário

SCBR

Solução Corretiva Baseada no Risco

Versão 3.25

Autores

Eng. Dr. Marcio R. Schneider
UFSC/REMA

Eng. Dr. André Moreira de Souza Filho
PETROBRAS/CENPES

Organizadora

Eng.ª Dra. Ana Claudia Canalli Bortolassi
UFSC/REMA

Atena Editora
Ano 2024

Guia do Usuário

SCBR

Solução Corretiva Baseada no Risco

Versão 3.25

Autores

Eng. Dr. Marcio R. Schneider
UFSC/REMA

Eng. Dr. André Moreira de Souza Filho
PETROBRAS/CENPES

Organizadora

Eng.ª Dra. Ana Claudia Canalli Bortolassi
UFSC/REMA

PETROBRAS
anp Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
UFSC
rema NÚCLEO RESSACADA DE PESQUISAS EM MEIO AMBIENTE
Atena Editora
Ano 2024

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Guia do Usuário
SCBR - Solução corretiva baseada no risco: versão 3.25

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Jeniffer dos Santos
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Ana Claudia Canalli Bortolassi
Autores: Marcio Roberto Schneider
André Moreira de Souza Filho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S358 Schneider, Marcio Roberto
Guia do usuário SCBR - Solução corretiva baseada no risco: versão 3.25 / Organizadora Ana Claudia Canalli Bortolassi – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.

Autores
Marcio Roberto Schneider
André Moreira de Souza Filho

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-2930-2
DOI https://doi.org/10.22533/at.ed.302242012

1. Engenharia de Software. I. Bortolassi, Ana Claudia Canalli (Organizadora). II. Schneider, Marcio Roberto. III. Souza Filho, André Moreira de. IV. Título.

CDD 005.2

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

AGRADECIMENTOS

Queremos registrar aqui nossos mais sinceros agradecimentos a todos que contribuíram para tornar este projeto realidade. O sucesso deste livro deve-se inteiramente à colaboração, ao apoio e à dedicação de pessoas que foram essenciais para sua realização.

Ao Prof. Dr. Henry Xavier Corseuil (*in memoriam*), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), que iniciou os primeiros estudos sobre a contaminação de solos e águas subterrâneas e contribuiu muito com os avanços tecnológicos na área.

Ao corpo gerencial e técnico da Petrobras, André Bueno Portes, Bruno Pereira Faria, Camila Tolledo Santos, Flavia Goncalves de Castro, Flavio Barbosa Bezerra, Marco Antonio Batista da Silva, Ricardo Schutz, Rodrigo Augusto Marques, Adriana Ururahy Soriano, Deivid Lucas dos Santos Migueleti, Leonardo Mitidiero Mansor, Leonardo Vieira Gomes da Silva, Luiz Fernando Martins, Marcelo Bizzoni, Marcus Paulus Martins Baessa e Tiago Magalhaes Soares, pelo apoio ao desenvolvimento e aplicação do software SCBR. Além disso, por compartilhar conhecimento e dados relevantes utilizados na simulação dos estudos de caso.

À Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) pelo apoio à pesquisa científica e incentivo à aplicação de tecnologias de inovação na indústria de petróleo, gás natural e combustível.

Aos pesquisadores, professores, técnicos e bolsistas de inovação tecnológica do Núcleo Ressacada de Pesquisas em Meio Ambiente (REMA), em especial ao Prof. Dr. Admir José Giachini (Coordenador do Projeto) e aos colaboradores Eng. M.Sc. Karina Lopes Joussef, Eng. M.Sc. Carlos José de Amorim Júnior, Eng. M.Sc. Muriel Edyth Lumsden Szymanski Patricio e Eng. M.Sc. Caio Brito Peres, que se dedicaram a esse projeto.

SOLUÇÃO CORRETIVA BASEADA NO RISCO (SCBR)

O desenvolvimento do SCBR é resultado da parceria entre a PETROBRAS/CENPES e a Universidade Federal de Santa Catarina, por meio do Núcleo Ressacada de Pesquisas em Meio Ambiente (REMA). Esse projeto recebeu apoio financeiro da ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, associado ao investimento de recursos oriundos das Cláusulas de PD&I.

O desenvolvimento do *software* contou com uma equipe de pesquisadores das áreas de engenharia ambiental, geologia, mecânica dos fluidos computacional, computação e engenharia de controle e automação e com o conhecimento adquirido em mais de 25 anos na realização de pesquisas sobre a contaminação de solos, de águas subterrâneas e o gerenciamento de áreas contaminadas.

O modelo SCBR é registrado no Instituto Nacional de Propriedade Industrial do Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior sob o nº 00065320 em 14/01/2005.

PROPRIEDADE E AUTORIA INTELECTUAL

O *software* SCBR é de propriedade da PETROBRAS e da UFSC com registro no Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI):

Processo Nº:	BR512020002215-4
Data de publicação:	01/10/2019.
Linguagem:	C++ / PYTHON.
Campo de Aplicação:	IN-03 / MA-03 / MT-06.
Tipo Programa:	IA-02, SM-01, SM-04, TC-01.
Título:	SCBR – Solução Corretiva Baseada no Risco.
Nome do Titular:	PETRÓLEO BRASILEIRO S/A – PETROBRAS e UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA -UFSC
Nome do Autor:	HENRY XAVIER CORSEUIL / MARCIO ROBERTO SCHNEIDER / CLOVIS RAIMUNDO MALISKA JUNIOR / FÁBIO ZADROZNY / RODRIGO MACHADO LUCIANETTI.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

ORGANIZAÇÃO E ESCOPO DO GUIA

Este guia tem como objetivo orientar o usuário na utilização prática do *software* SCBR. Sua estrutura está dividida em três capítulos principais: “***Introdução”***, “***Utilizando o SCBR”*** e “***Exercícios***”. No primeiro capítulo, ***Introdução***, são apresentadas as características do modelo SCBR, tipos de cenários que podem ser simulados, limitações e recomendações para utilização. No segundo capítulo, ***Utilizando o SCBR***, é explicada a utilização do *software*, bem como as ferramentas e funcionalidades dos módulos: Estudo, Ambiente, Amostragem, Risco, Remediação e Resultados. No terceiro capítulo, ***Exercícios***, o usuário terá a oportunidade de entender a utilização do *software*, passo a passo, por meio de 10 exemplos:

- **Exemplo 1 – Georreferenciamento**: utilizar uma imagem da área de interesse com suas coordenadas geográficas para iniciar as etapas de georreferenciamento;
- **Exemplo 2 – Amostragem**: simular planos de amostragem com diferentes tipos de métodos de distribuição amostral exemplo;
- **Exemplo 3 – Potenciométrico**: simular o fluxo subterrâneo na zona saturada;
- **Exemplo 4 – Fonte na Zona Não Saturada**: simular os fenômenos de lixiviação e volatilização, resultantes de um vazamento de substâncias químicas na zona não saturada;
- **Exemplo 5 – Fontes na Zona Não Saturada e Saturada**: formação de plumas de contaminantes dissolvidos na água subterrânea (zona saturada) a partir da lixiviação (acoplamento entre zonas não saturada e saturada), e de uma fonte na zona saturada;
- **Exemplo 6 – Risco à Saúde Humana (concentrações medidas)**: quantificar o risco à saúde humana a partir de concentrações medidas em campo;
- **Exemplo 7 – Risco à Saúde Humana (concentrações medidas e simuladas)**: quantificar o risco à saúde humana a partir de concentrações medidas e simuladas;
- **Exemplo 8 – Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA)**: calcular as CMA para a área de interesse;
- **Exemplo 9 – Barreira e Bombeamento**: simular e testar a eficiência de tecnologias de remediação;
- **Exemplo 10 – Cubagem**: aplicar a tecnologia de remediação cubagem para o solo.

Por último, são respondidas as ***Perguntas Frequentes*** em relação ao modelo. O Manual de Referências Técnicas poderá ser consultado para obtenção de informações sobre a base teórica e matemática implementada no SCBR.

1. INTRODUÇÃO

1.1. O que é o SCBR?

O SCBR (Solução Corretiva Baseada no Risco) é um simulador matemático bidimensional de apoio ao gerenciamento de áreas impactadas, avaliação de riscos à saúde humana e remediação, ou em áreas onde são desenvolvidas atividades potencialmente poluidoras. O SCBR está alinhado com as diretrizes da Resolução CONAMA Nº 420/2009 e Normas ABNT (NBR 15515, NBR 16209 e NBR 16210), com o propósito de auxiliar na tomada de decisão em ações de gerenciamento ambiental de áreas contaminadas. O modelo SCBR possui diversas ferramentas necessárias ao gerenciamento de áreas contaminadas, destacando:

- Utilização de modelos numéricos para a simulação do fluxo da água subterrânea e o transporte de contaminantes na zona não saturada (volatilização e lixiviação) e zona saturada;
- Simulação da interferência do etanol sobre a biodegradação e a solubilidade dos hidrocarbonetos de petróleo para os casos de contaminações por combustíveis onde se adicionam álcool;
- Estimativa do alcance e da velocidade de migração de plumas de contaminação na fase dissolvida;
- Definição de perímetros de proteção de aquíferos;
- Geração de relatórios e vídeos;
- Auxílio no dimensionamento de planos de amostragem com base em probabilidades;
- Geração de mapas bidimensionais de risco à saúde humana considerando a heterogeneidade do aquífero, indicando com precisão as regiões onde os valores estão acima do tolerável;
- Quantificação das metas de remediação baseadas no risco (Concentrações Máximas Aceitáveis - CMA);
- Simulação de tecnologias de remediação, incluindo barreiras físicas, bombeamento, atenuação natural, barreiras reativas e cubagem de solo;
- Módulo de avaliação de risco configurável, permitindo a customização para utilização de equações, parâmetros de exposição e toxicidade de quaisquer referências, como ASTM, USEPA, CETESB, dentre outras.

Os principais cenários que abrangem o uso do SCBR incluem a simulação do transporte e transformação de contaminantes no solo e água subterrânea, antes mesmo da ocorrência de vazamentos e em eventos que resultem na liberação de combustíveis no solo e águas subterrâneas como, por exemplo, nos casos de rompimento de dutos,

vazamento de tanques de armazenamento, contaminação por aterros industriais e outros cenários que envolvam a liberação de compostos tóxicos orgânicos ou inorgânicos. Nos casos de vazamentos, estes compostos podem ser ou transferidos para o ar atmosférico por fenômenos de volatilização, ou escoados na superfície do terreno ou infiltrado no solo, atingindo ou não a água subterrânea. Um exemplo de cenário no qual o SCBR pode ser utilizado é exemplificado na Figura 1.1, onde um duto de óleo combustível rompeu e espalhou produto puro no solo. Apesar da ação emergencial ter recolhido o máximo de óleo possível, parte dos contaminantes atingiu a água subterrânea, favorecendo a solubilização de alguns hidrocarbonetos do petróleo de menor peso molecular. Estes compostos dissolvidos podem migrar continuamente no aquífero em função do fluxo da água subterrânea e, assim, atingir pontos de exposição críticos (POE), resultando no risco potencial à saúde humana ou de áreas ecologicamente sensíveis.

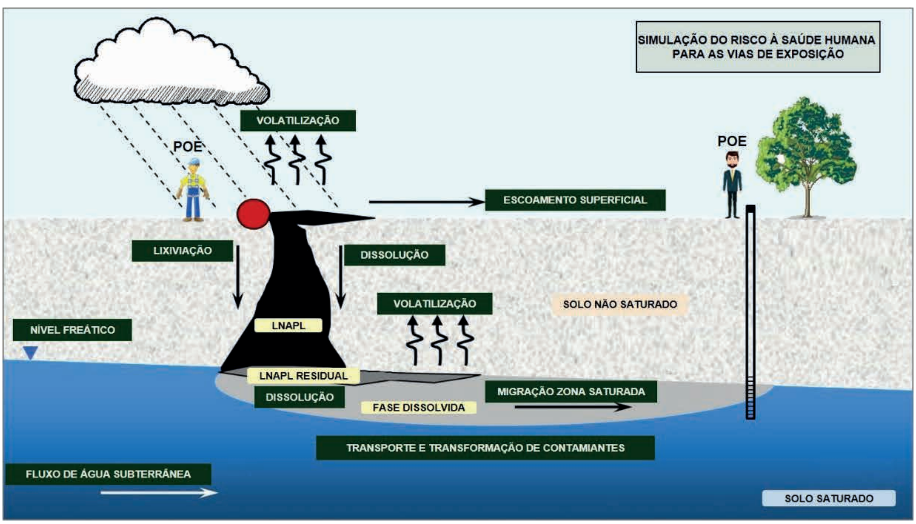


Figura 1.1 Modelo conceitual de contaminação no solo e na água subterrânea a partir de contaminantes no solo superficial.

Outro exemplo de cenário que pode ser encontrado em relação à contaminação de aquíferos é definido pela presença dos contaminantes na zona não saturada do solo, como representado na Figura 1.2. Neste caso, os contaminantes podem atingir as águas subterrâneas devido à solubilização pela água da chuva, em um processo conhecido como lixiviação ou ainda, podem volatilizar para a atmosfera.

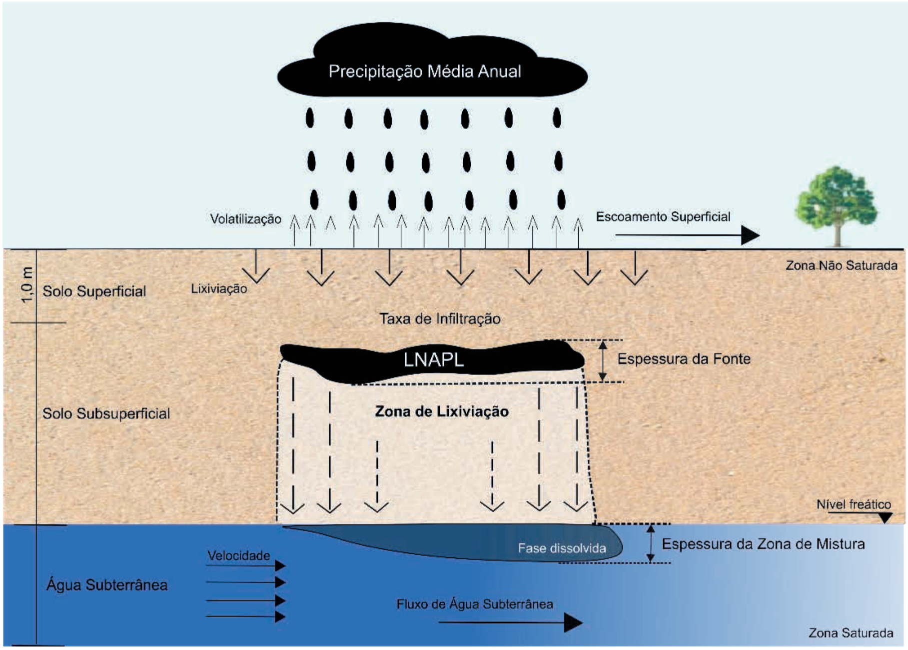


Figura 1.2 Modelo conceitual de contaminação do solo e da água subterrânea a partir de contaminantes no solo subsuperficial (zona não saturada).

Além de simular o comportamento dos contaminantes no meio ambiente, o SCBR possui um módulo de risco que permite ao usuário determinar o risco à saúde humana. O módulo de avaliação de risco do SCBR é totalmente personalizável, permitindo simular diversos receptores, rotas de migração e usos do solo, tanto para concentrações medidas como simuladas. O resultado da simulação é um conjunto de mapas de risco bidimensional, indicando com precisão as regiões onde os valores estão acima do tolerável. Portanto, o SCBR é uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões e permite a priorização da alocação de recursos baseada no risco à saúde humana.

Após a avaliação de risco, as áreas comprovadamente impactadas que apresentam risco à saúde humana ou ao meio ambiente acima do risco alvo, necessitam de ações corretivas para recuperação do local. Em muitos casos são empregadas tecnologias de remediação *in situ*, adotando-se processos biológicos de recuperação (biorremediação), os quais transformam os compostos tóxicos em compostos inócuos a saúde humana e ao meio ambiente. Outra forma de remediação usualmente empregada é a adoção de processos físicos que atuam sobre o transporte dos contaminantes, evitando que pontos de exposição potenciais sejam atingidos. No caso da biorremediação, os processos de transformação dos contaminantes são acelerados, dando-se condições de desenvolvimento dos micro-organismos presentes na região de recuperação. O estímulo necessário ao desenvolvimento dos micro-organismos pode ser alcançado por meio da

injeção de nutrientes, injeção de receptores de elétrons, controle de pH, dentre outros. No caso de medidas corretivas sobre o transporte de contaminantes, são empregadas usualmente tecnologias de controle hidráulico com barreiras impermeáveis, aceleração do processo biológico de biodegradação, injeções e bombeamentos. O SCBR conta ainda com a ferramenta de cubagem de solo contaminado, método de remediação que permite dimensionar o tratamento a partir da massa de contaminante ou calcular o volume de solo a ser disposto em aterro industrial.

O SCBR permite que a simulação do destino e do transporte dos contaminantes inclua os processos biológicos (biorremediação) e físicos, usualmente utilizados na remediação *in situ*. No caso de simulação de tecnologias de biorremediação, o usuário deve definir a localização onde a tecnologia está sendo empregada e a respectiva taxa de remoção de contaminantes. Geralmente, valores de taxas de atenuação de contaminantes podem ser obtidos na literatura da área ou por meio de catálogos de fabricantes das tecnologias. Para as simulações que incluem o controle hidráulico, o usuário deverá definir a localização das barreiras impermeáveis, dos pontos de bombeamento e injeção com suas respectivas vazões.

A adoção de estratégias de remediação tem como objetivo principal selecionar tecnologias que sejam mais efetivas na recuperação das áreas impactadas, atendendo aos órgãos reguladores e à comunidade, minimizando os custos de remediação. Desta forma, o SCBR torna-se uma ferramenta de análise muito importante, permitindo que o usuário simule diversas tecnologias de remediação *in situ* (ex.: atenuação natural monitorada, redução na fonte, injeção de nutrientes, barreiras, controle hidráulico, cubagem de solo etc.), verificando qual é a ação mais efetiva para atender às necessidades específicas do local. Em uma etapa posterior, a análise das tecnologias deve ser acompanhada de uma avaliação de custos. Este tipo de abordagem possibilita uma alocação de recursos de forma mais criteriosa, além de permitir que os recursos sejam destinados às áreas prioritárias.

1.2. Perguntas que o SCBR pode ajudar a responder

O SCBR é uma ferramenta computacional que pode auxiliar analistas ambientais a responder questões do tipo:

1. Quais são as áreas de maior risco em uma Unidade Operacional caso ocorra um evento acidental com contaminação do solo e água subterrânea?
2. Quais informações do cenário de simulação deverão ser levantadas pela equipe campo?
3. Qual é a velocidade e a direção de fluxo da água subterrânea?
4. Em que direção a pluma de contaminação migrará e em que velocidade?
5. Qual a magnitude do impacto à saúde humana?

6. Os receptores (pontos de exposição) serão atingidos? Em quanto tempo?

7. Qual a extensão vertical contaminada em um vazamento na zona não saturada?

8. Qual tempo necessário para que um derramamento na zona não saturada atinja o aquífero?

9. A concentração de contaminante(s) dissolvido(s) na água subterrânea representa risco à saúde humana?

10. Como gerar um plano de amostragem para um licenciamento e/ou uma área contaminada?

11. É necessária a adoção de medidas corretivas para o local?

12. Quais são as melhores estratégias para a remediação do local contaminado?

13. Qual é o risco que determinado cenário oferece à saúde humana?

14. Quais são os contaminantes e as rotas de ingresso que oferecem maior risco à saúde humana?

15. Quais as metas de remediação das substâncias químicas de interesse a serem atingidas?

16. Quais são as áreas prioritárias para remediação baseado no risco à saúde humana?

17. Qual o volume de solo a ser disposto em aterro industrial após a cubagem?

1.3. Limitações

A aplicação de modelos matemáticos na simulação de eventos naturais pode apresentar restrições, pois as soluções matemáticas incorporadas nos modelos são baseadas em simplificações de fenômenos naturais que, na maioria dos casos, são extremamente complexos e envolvem muitas variáveis. Todavia, quando os modelos são usados em conjunto com a experiência do usuário e com dados de campo de boa qualidade, tornam-se excelentes ferramentas de auxílio na tomada de decisão no gerenciamento ambiental de áreas impactadas, ou na predição de cenários antes do evento acidental, sobretudo, quando variáveis precisam ser comparadas.

1.4. Configurações de Hardware e Software

Configuração mínima:

CPU: Core 2 - 2.13GHz;
Memória RAM: 4GB;
Placa de vídeo acelerada OpenGL;
Memória placa de vídeo: 512MB;

Configuração recomendada:

CPU: Core i7 - 4.00GHz;

Memória RAM: 16GB;

Placa de vídeo acelerada OpenGL;

Memória placa de vídeo: 4GB;

Sistemas Operacionais:

O SCBR 3.25 pode ser instalado e executado no sistema operacional Microsoft Windows® XP, Vista, 7, 8 e 10. É recomendado o Windows 7 ou versão superior.

1.5. Procedimentos de Instalação

Para a instalação do SCBR é necessário o arquivo instalador do tipo *.exe* da versão desejada.

Instruções para instalação:

- Instalação do SCBR 3.25:

Após dois cliques com o botão esquerdo do mouse no arquivo de instalação do SCBR 3.25 (scbr-bin-3.25.0-win64) será iniciado o processo de instalação que seguirá como apresentado nas Figuras 1.3 a 1.9.

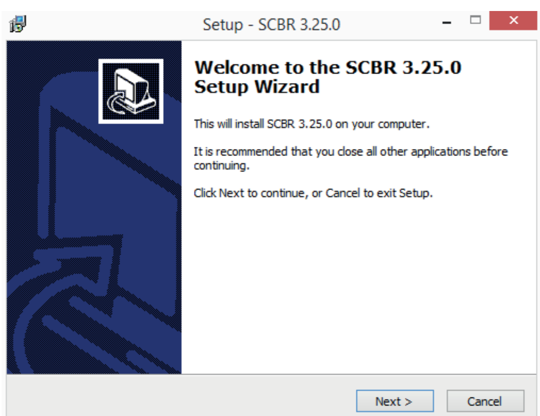


Figura 1.3 Início do processo de instalação do SCBR 3.25.

Clique em ***Next*** para confirmar e continuar com a instalação.

A próxima janela destina-se à escolha do local de instalação do SCBR, onde são necessários aproximadamente 200Mb de espaço livre em disco.

Selecione, por meio do botão ***Browser***. O local onde o SCBR será instalado por padrão será na pasta: C:\Program Files(86x)\Petrobras\SCBR 3.25.0.

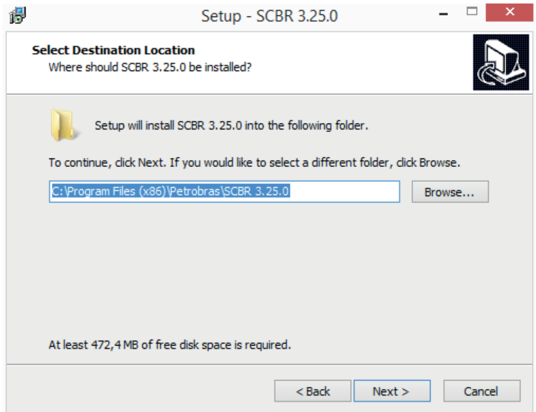


Figura 1.4 Local de instalação do SCBR 3.25.

Clique em ***Next*** para confirmar e continuar a instalação.

Em seguida, a janela mostrará o destino padrão de criação do atalho do SCBR 3.25.

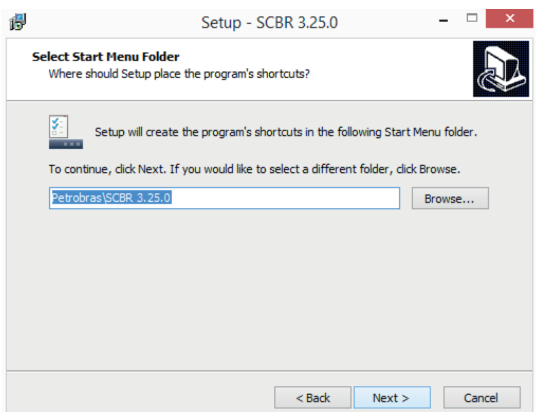


Figura 1.5 Local de criação do atalho do SCBR 3.25.

Clique em ***Next*** para confirmar e continuar a instalação. Na janela seguinte, o usuário pode optar pela criação do ícone SCBR 3.25 na área de trabalho.

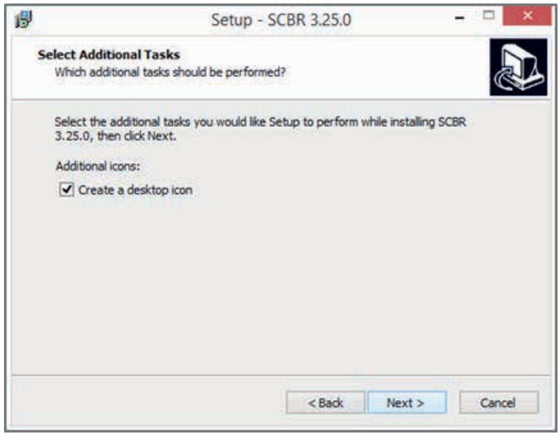


Figura 1.6 Criação do ícone SCBR 3.25 na área de trabalho.

Clique em ***Next*** para confirmar e continuar a instalação. Aqui são exibidas as configurações selecionadas.

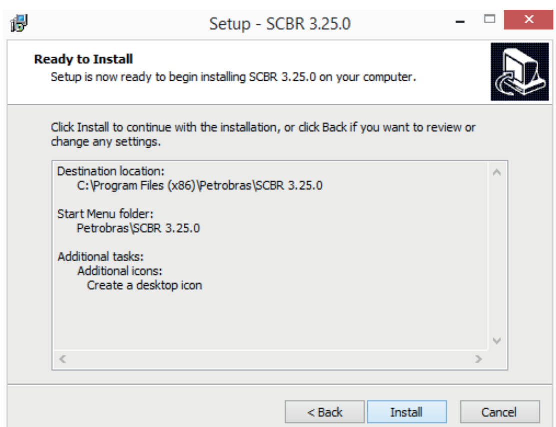


Figura 1.7 Revisão das opções.

Clique em ***Install*** para iniciar o processo de instalação. O SCBR 3.25 está sendo instalado. Deverá ser aguardado o término da instalação para a continuação.

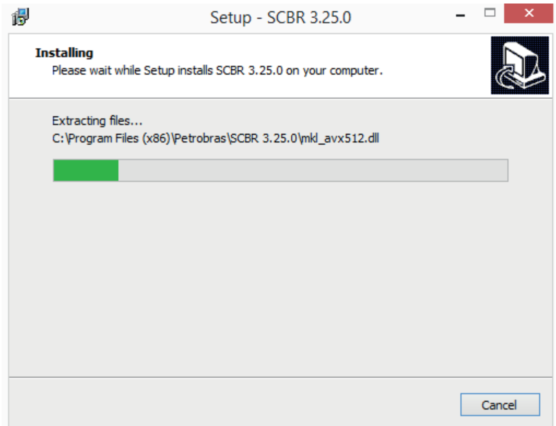


Figura 1.8 Processo de Instalação.

O processo de instalação do SCBR 3.25 foi completado. Clique em ***Finish*** para sair do assistente de instalação.

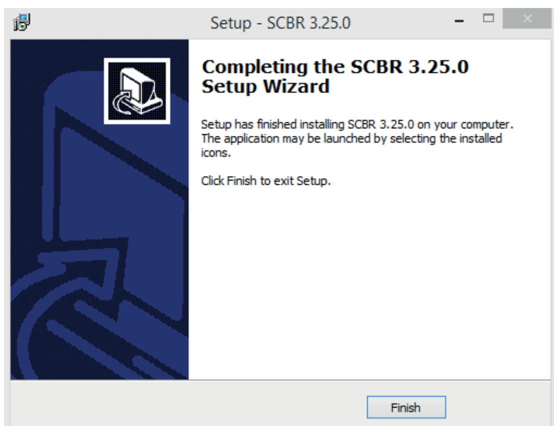


Figura 1.9 Instalação completada.

1.6. Aquisição e Gerenciamento de Licenças

<u>Processo de Aquisição e Gerenciamento de Licenças</u>:

Para utilizar o SCBR 3.25 é necessário um arquivo de licença, que habilita o uso do *software*. Esse arquivo de licença é concebido a partir do endereço físico, também conhecido como MAC *Address*, e que está vinculado à placa de rede de cada computador. Para descobrir o MAC *Address* devem-se seguir os seguintes passos:

- Menu Iniciar ⇒ Painel de Controle ⇒ Conexões de Rede ou,
- Menu Iniciar ⇒ Painel de Controle ⇒ Central de Rede e Compartilhamentos ⇒ Alterar as configurações do adaptador.

Em conexões de rede, segue o procedimento (Figura 1.10):

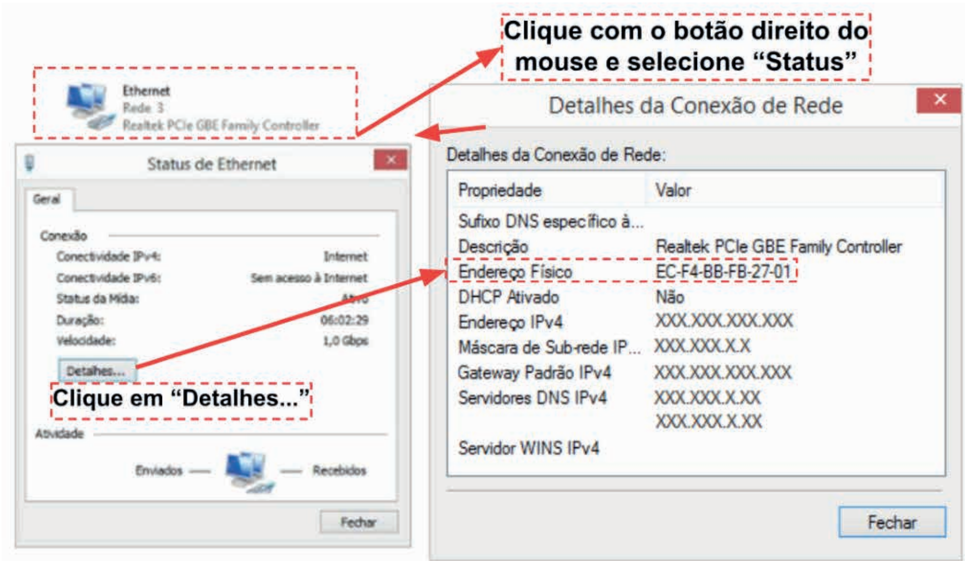


Figura 1.10 Conexões de rede.

Esse mesmo endereço é exibido ao iniciar o SCBR 3.25. Esse endereço físico deve ser anotado para que o arquivo de licença a ser gerado seja devidamente encaminhado para a ativação do *software*.

Após o recebimento do arquivo de licença (arquivo tipo *.lic*), o mesmo deve ser renomeado para “scbr15.lic” e salvo na pasta **C:\Users\XXX\AppData\Roaming\SCBR\license**. Somente após este procedimento o SCBR abrirá normalmente (Figura 1.11).

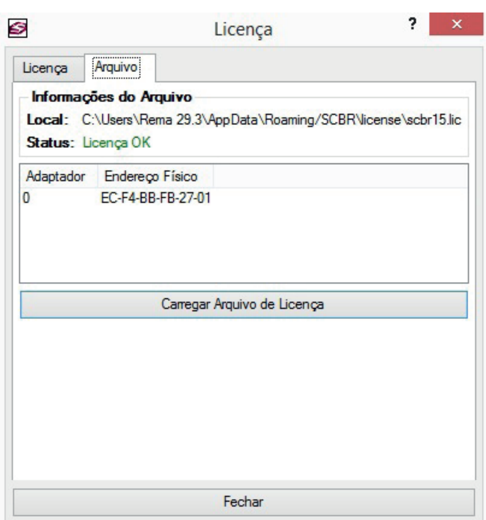


Figura 1.11 SCBR versão 3.25 com o arquivo de licença instalado.

1.7. Recomendações

Para a simulação de cenários com o modelo SCBR são necessários, em função dos objetivos, informações do tipo: dados da área de interesse, incluindo a caracterização física do local e do entorno; propriedades hidrogeológicas do meio subterrâneo; caracterização das fontes de contaminação; tipos de contaminantes; características físico-químicas das substâncias químicas de interesse; limites estabelecidos pela legislação; caracterização dos receptores potenciais; e demais informações que servirão como dados de entrada para modelo. Complementarmente, recomenda-se uma análise de sensibilidade para determinação dos efeitos das variações nos parâmetros do *software* sobre os resultados, identificando também, quais os parâmetros impõem maiores incertezas à simulação.

O SCBR 3.25 é um *software* científico e, portanto, deverá ser utilizado por usuário devidamente capacitado. Os resultados obtidos em simulações com o modelo, bem como o emprego e a divulgação destes resultados, são de inteira e exclusiva responsabilidade do usuário.

2. UTILIZANDO O SCBR

2.1. Área de Trabalho do SCBR

A área de trabalho do SCBR possui os seguintes elementos: *Barra de Menus, Barra de Ferramentas, Painel de Navegação (Módulos Estudo, Ambiente, Amostragem, Risco, Remediação e Resultados), Painel de Edição, Área de Visualização e Domínio de Simulação.* Ao criar um arquivo ".scbr" é visualizada a tela apresentada na Figura 2.1.

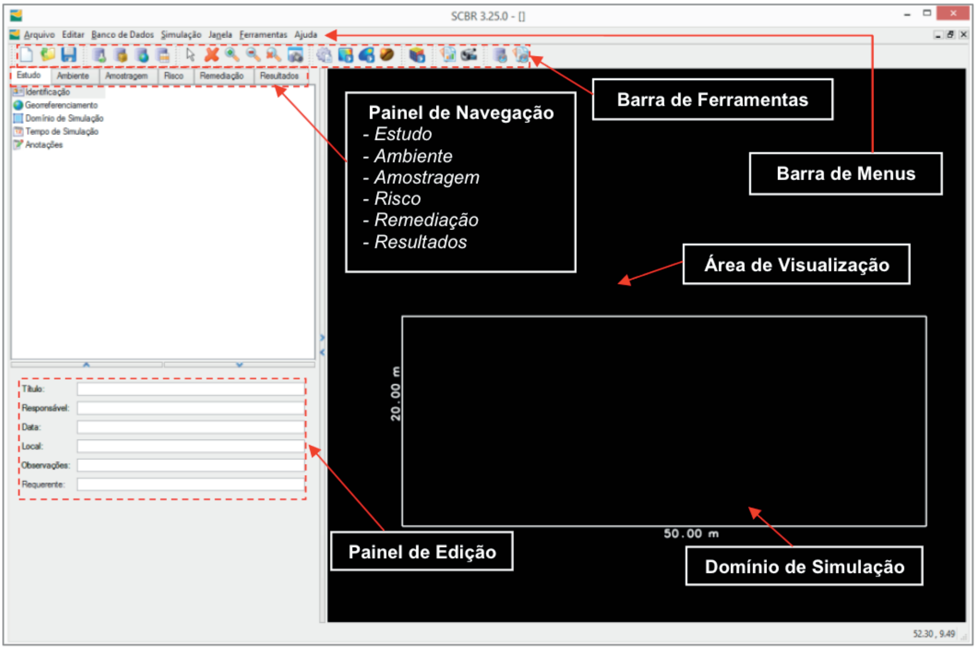


Figura 2.1 Layout da área de trabalho do SCBR versão 3.25.

<u>Barra de Menus</u>: dá acesso às principais funcionalidades como abrir arquivos, salvar, banco de dados, configuração do simulador, exemplos etc. (Figura 2.2).

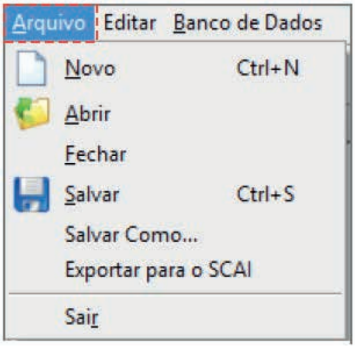


Figura 2.2 Item Arquivo

Os comandos do menu *Arquivo* são comuns a todos os programas em ambiente Windows®. O comando ***Novo:*** cria um arquivo de simulação; ***Abrir:*** abre uma simulação já salva em disco; ***Fechar:*** fecha o arquivo de simulação aberto; ***Salvar:*** salva a simulação em disco, ***Salvar Como...:*** salva a simulação em disco perguntando a pasta onde será salvo o arquivo; ***Exportar para o SCAI:*** gera um arquivo XML com as simulações realizadas no SCBR e que poderá ser lido pelo sistema SCAI (Sistema Corporativo de Áreas Impactadas); e ***Sair:*** encerra o SCBR.

Editar: neste menu o usuário tem a opção de escolher o idioma que deseja trabalhar com o SCBR. Além do idioma português (BR), há a opção do idioma inglês (*English – US*) (Figura 2.3).

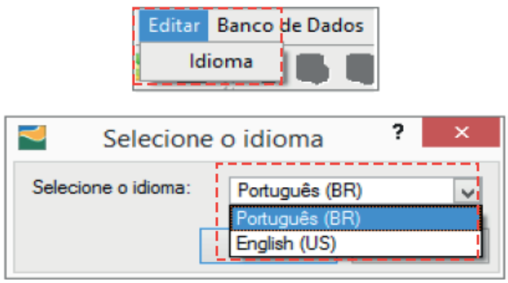


Figura 2.3 Item Editar.

Banco de Dados: o SCBR possui dois bancos de dados:

A ***Base de dados mestre*** é onde contém o banco de dados físico-químico, toxicológico e hidrogeológico da versão utilizada do SCBR (Figura 2.4).

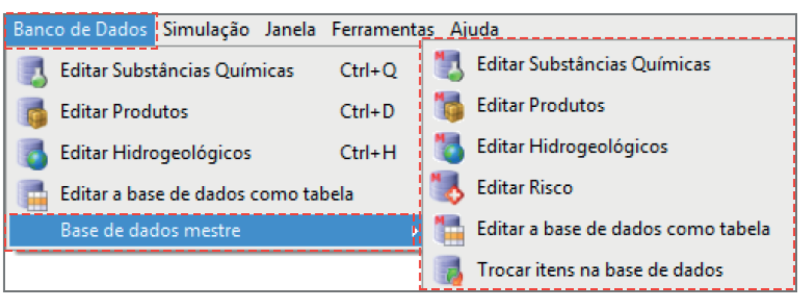


Figura 2.4 Base de dados mestre do SCBR versão 3.25.

Editar a base de dados como tabela*:* corresponde ao banco de dados específico do arquivo de simulação em que o usuário está trabalhando (Figura 2.5).

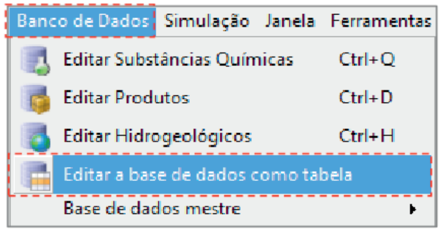


Figura 2.5 Comando Editar a base de dados como tabela do item Banco de Dados.

Os dados salvos na ***Base de dados mestre*** estarão disponíveis a todos os arquivos. scbr criados no computador do usuário. Já os arquivos salvos na ***Base de dados específicos*** do arquivo estarão disponíveis somente no arquivo novo criado, independente do computador em que for aberto. Ao criar uma simulação, o SCBR cria uma ***Base de dados específicos*** do arquivo similar à base de dados ***mestre*** existente no computador do usuário. Por padrão, a ***Base de dados mestre*** do SCBR contém os principais compostos de interesse dos produtos: Álcool Combustível, Gasolina Brasileira, C5+, Gasolina Pura, Nafta e Óleo Diesel.

O comando ***Editar Substâncias Químicas*** (Figura 2.6) **é usado para adicionar** e/ou editar as características das substâncias químicas (benzeno, tolueno etc.).

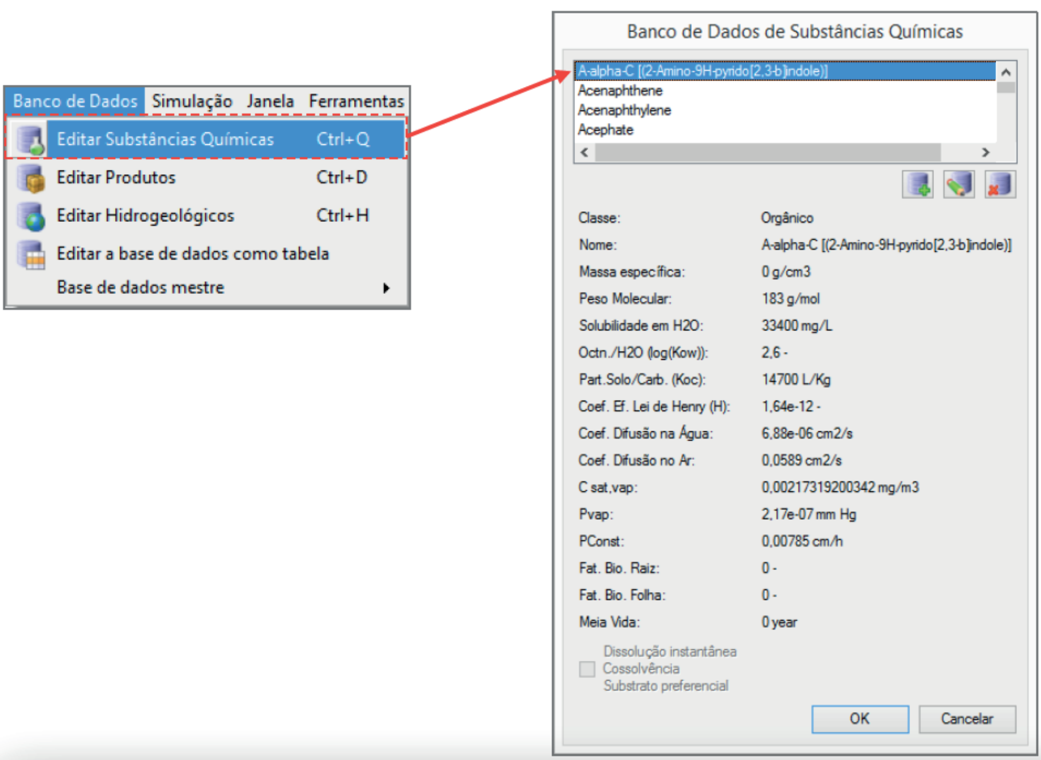


Figura 2.6 Comando Editar Substâncias Químicas do item Banco de Dados.

O comando ***Editar Produtos* é usado para adicionar** e/ou editar as informações dos produtos (gasolina, etanol etc.).

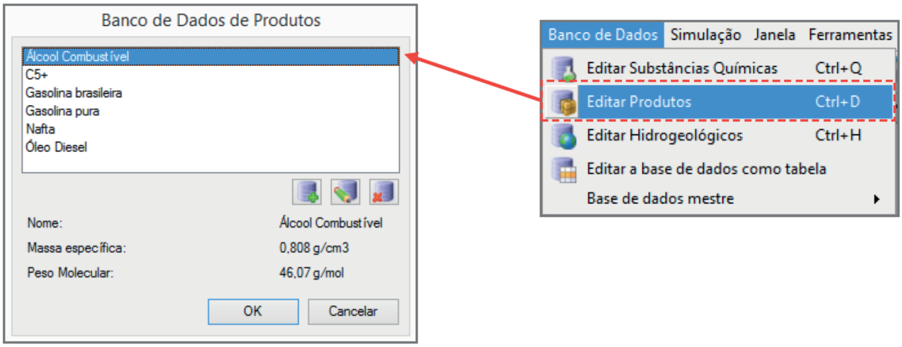


Figura 2.7 Comando Editar Produtos do item Banco de Dados.

O comando ***Editar Hidrogeológicos*** é usado para adicionar tipos de solo e editar os dados hidrogeológicos (porosidade efetiva, condutividade etc.).

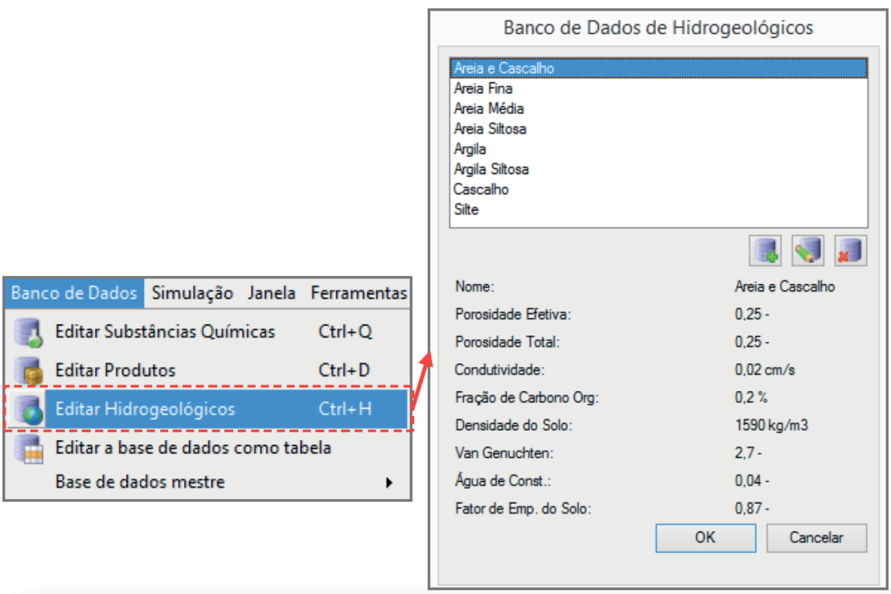


Figura 2.8 Comando Editar Hidrogeológicos do item Banco de Dados.

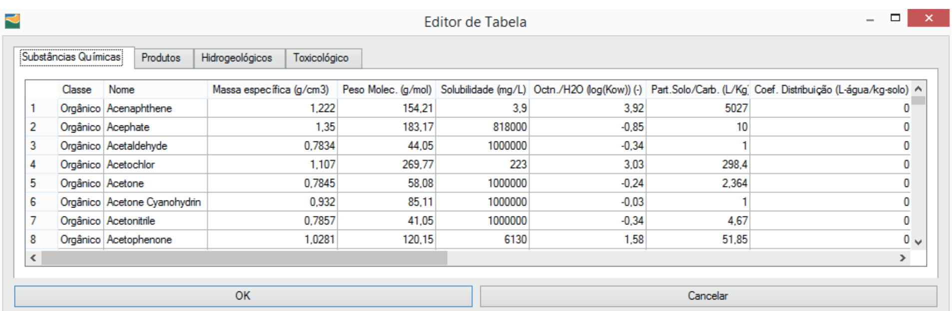
O comando ***Editar a base de dados como tabela*** fornece ao usuário uma interface do tipo planilha para edição dos dados, facilitando a importação ou exportação dos dados.

Ao clicar em ***Editar a base de dados como tabela*** aparecerá uma janela ***Editor de tabela*** com as seguintes abas:



Figura 2.9 Comando Editar a base de dados como tabela do item Banco de Dados.

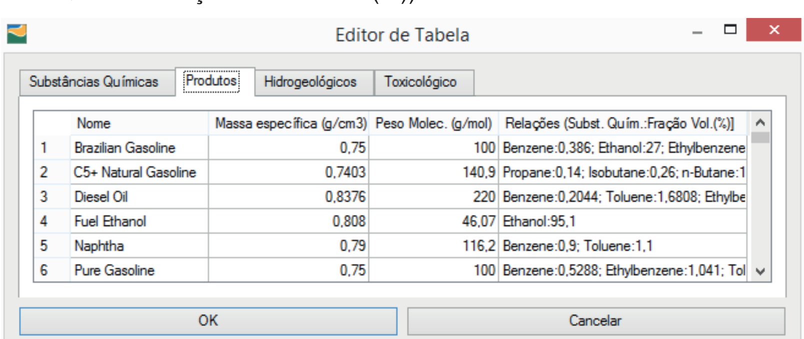
- **Substâncias Químicas:** na aba *Substâncias Químicas* estão contidas as características físico-químicas dos 1395 compostos (Figura 2.10), como: Classe, Nome, Massa Específica, Peso Molecular, Solubilidade, logarítmico do Coeficiente de Partição Octanol-Água (log Kow), Coeficiente de Partição do Contaminante na Fração Orgânica do Solo (Koc), Coeficiente de Distribuição (Kd), Cossolvência, Coeficiente Efetiva da Lei de Henry, Coeficiente de Difusão da Água, Coeficiente de Difusão do Ar, Constante de Saturação de Vapor, Pressão de Vapor, Constante de Permeabilidade Dérmica, Fator de Bioconcentração para Metais (raiz), Fator de Bioconcentração para Metais (Foleáceas/estruturais) e Meia-Vida.



	Classe	Nome	Massa específica (g/cm3)	Peso Molec. (g/mol)	Solubilidade (mg/L)	Octn./H2O (log(Kow)) (-)	Part.Solo/Carb. (L/Kg	Coef. Distribuição (L-água/kg-solo)
1	Orgânico	Acenaphthene	1,222	154,21	3,9	3,92	5027	0
2	Orgânico	Acephate	1,35	183,17	818000	-0,85	10	0
3	Orgânico	Acetaldehyde	0,7834	44,05	1000000	-0,34	1	0
4	Orgânico	Acetochlor	1,107	269,77	223	3,03	298,4	0
5	Orgânico	Acetone	0,7845	58,08	1000000	-0,24	2,364	0
6	Orgânico	Acetone Cyanohydrin	0,932	85,11	1000000	-0,03	1	0
7	Orgânico	Acetonitrile	0,7857	41,05	1000000	-0,34	4,67	0
8	Orgânico	Acetophenone	1,0281	120,15	6130	1,58	51,85	0

Figura 2.10 Aba Substâncias Químicas da Base de Dados.

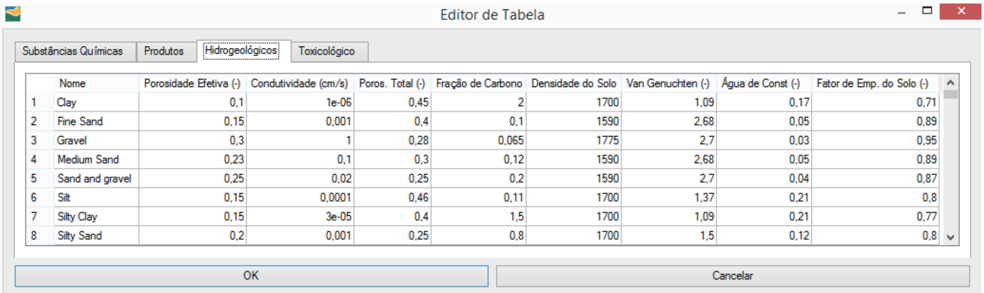
- **Produtos:** a aba *Produtos* é composta pelos produtos: Gasolina Brasileira, C5+, Óleo Diesel, Álcool Combustível, Nafta e Gasolina Pura, juntamente com suas respectivas: massa específica, peso molecular e a relações (Composição Química: Fração Volumétrica (%)).



	Nome	Massa específica (g/cm3)	Peso Molec. (g/mol)	Relações (Subst. Quím.:Fração Vol.(%)]
1	Brazilian Gasoline	0,75	100	Benzene:0,386; Ethanol:27; Ethylbenzene
2	C5+ Natural Gasoline	0,7403	140,9	Propane:0,14; Isobutane:0,26; n-Butane:1
3	Diesel Oil	0,8376	220	Benzene:0,2044; Toluene:1,6808; Ethylbe
4	Fuel Ethanol	0,808	46,07	Ethanol:95,1
5	Naphtha	0,79	116,2	Benzene:0,9; Toluene:1,1
6	Pure Gasoline	0,75	100	Benzene:0,5288; Ethylbenzene:1,041; Tol

Figura 2.11 Aba Produtos da Base de Dados.

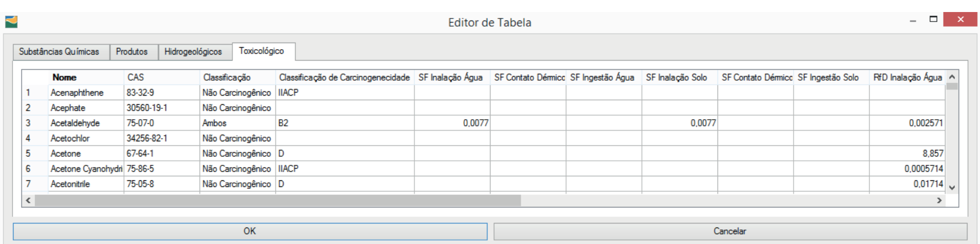
- **Hidrogeológicos:** na aba *Hidrogeológicos* contém os valores das propriedades físicas dos 8 tipos de solo presentes no banco de dados como: porosidade efetiva, condutividade hidráulica, porosidade total, fração de carbono, densidade do solo, parâmetro de van Genuchten, água de constituição e fator de empolamento do solo.



	Nome	Porosidade Efetiva (-)	Condutividade (cm/s)	Poros. Total (-)	Fração de Carbono	Densidade do Solo	Van Genuchten (-)	Água de Const (-)	Fator de Emp. do Solo (-)
1	Clay	0,1	1e-06	0,45	2	1700	1,09	0,17	0,71
2	Fine Sand	0,15	0,001	0,4	0,1	1590	2,68	0,05	0,89
3	Gravel	0,3	1	0,28	0,065	1775	2,7	0,03	0,95
4	Medium Sand	0,23	0,1	0,3	0,12	1590	2,68	0,05	0,89
5	Sand and gravel	0,25	0,02	0,25	0,2	1590	2,7	0,04	0,87
6	Silt	0,15	0,0001	0,46	0,11	1700	1,37	0,21	0,8
7	Silty Clay	0,15	3e-05	0,4	1,5	1700	1,09	0,21	0,77
8	Silty Sand	0,2	0,001	0,25	0,8	1700	1,5	0,12	0,8

Figura 2.12 Aba Hidrogeológicos da Base de Dados.

- **Toxicológicos:** na aba *Toxicológicos* contém as informações referentes aos parâmetros toxicológicos dos compostos químicos, como: CAS (*Chemical Abstracts Service*), classificação, classificação de carcinogecidade, SF (*Slope Factor*) inalação água, SF contato dérmico, SF ingestão água, SF inalação solo, RfD (Dose de Referência) inalação água, RfD ingestão água, RfD contato dérmico, RfD inalação solo, RfD ingestão solo, RfD contato dérmico, ABS (fator de sorção), RAF (fator de absorção) contato dérmico, RAF (fator de absorção) ingestão solo, ABSgi (fator de absorção gastrointestinal) e tipo do composto.



	Nome	CAS	Classificação	Classificação de Carcinogenecidade	SF Inalação Água	SF Contato Dérmico	SF Ingestão Água	SF Inalação Solo	SF Contato Dérmico	SF Ingestão Solo	RfD Inalação Água
1	Acenaphthene	83-32-9	Não Carcinogênico	IIACP							
2	Acephate	30560-19-1	Não Carcinogênico								
3	Acetaldehyde	75-07-0	Ambos	B2	0,0077			0,0077			0,002571
4	Acetochlor	34256-82-1	Não Carcinogênico								
5	Acetone	67-64-1	Não Carcinogênico	D							8,857
6	Acetone Cyanohydri	75-86-5	Não Carcinogênico	IIACP							0,0005714
7	Acetonitrile	75-05-8	Não Carcinogênico	D							0,01714

Figura 2.13 Aba Toxicológicos da Base de Dados.

O comando ***Trocar itens da base de dados*** tem a função de importar ou exportar dados entre a base de dados **mestre** e a base de dados **específico** do arquivo aberto (criado para uma nova simulação).

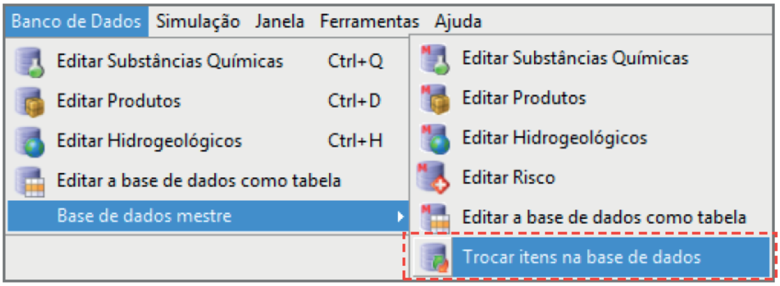


Figura 2.14 Comando Trocar itens na base de dados.

<u>Simulação:</u> o comando ***Configurar Simulador*** é usado para editar parâmetros do simulador, como número de volumes de controle do domínio de simulação (refinamento da malha), limites de iteração, fator interno de tempo etc. (Figura 2.15).

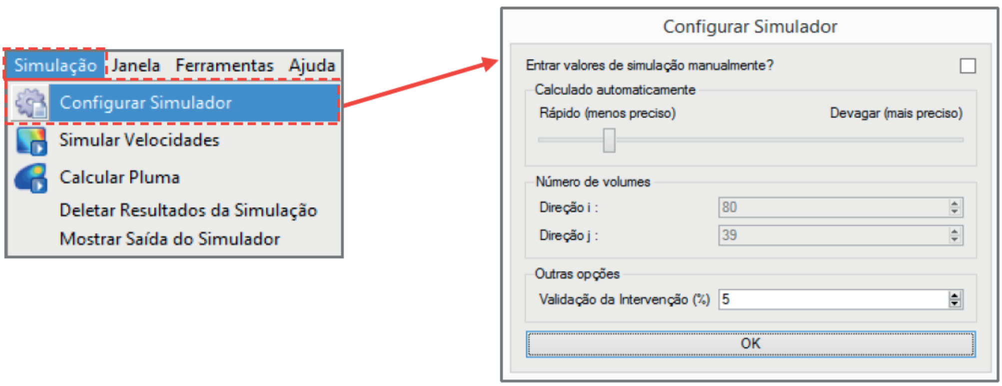


Figura 2.15 Comando Configurar Simulador do item Simulação.

Ao selecionar a caixa ***"Entrar com valores de simulação manualmente?"*** são exibidas as definições para a simulação (Figura 2.16)

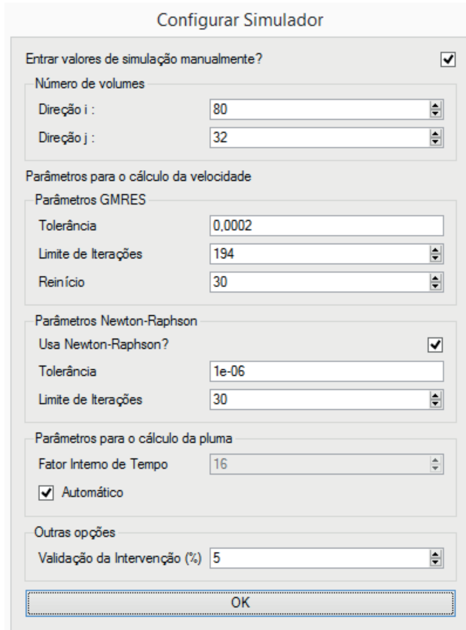


Figura 2.16 Aba Configurar Simulador.

Número de volumes:

- **Direção i*:*** define o refinamento da malha na direção *i* (eixo x).
- **Direção j:** define o refinamento da malha na direção *j* (eixo y).

O ideal é que sejam utilizadas malhas quadradas, isto é, malhas com volumes de controle com mesmo tamanho em ambas as direções. Para isso, recomenda-se que a razão entre *Direção i* e *Direção j* seja igual à razão entre a largura e o comprimento da área de simulação. Quanto maior o refinamento da malha, maior será a precisão da simulação e o tempo que o modelo demorará a simular a pluma.

Parâmetros GMRES:

- **Tolerância:** tolerância é um parâmetro que definirá o limite a partir do qual a convergência de uma iteração é aceitável. Recomenda-se que o valor seja inferior a 0,0001. Quanto menor a tolerância, maior será a precisão da simulação e o tempo que o modelo demorará a simular a pluma.
- **Limite de Iterações*:*** define o número máximo de iterações que uma simulação executará. Quanto maior o limite de iterações, maior será a precisão da simulação e o tempo que o modelo demorará a simular a pluma. Se a simulação passar desse número de iterações, significa que não convergiu.
- **Reinício:** significa o número de iterações a partir do qual ocorrerá um reinício. Quanto menor for este número, menos memória será utilizada. Por outro lado, mais iterações serão necessárias.

Parâmetros Newton-Raphson:

- **Usa Newton-Raphson***:* indica se será usado o método Newton-Raphson ou não.
- **Tolerância:** tolerância é um parâmetro que definirá o limite a partir do qual a convergência de uma iteração é aceitável. Recomenda-se que o valor seja inferior a 0,0001. Quanto menor a tolerância, maior será a precisão da simulação e o tempo que o modelo demorará a simular a pluma.
- **Limite de Iterações**: define o número máximo de iterações que uma simulação executará. Quanto maior o limite de iterações, maior será a precisão da simulação e o tempo que o modelo demorará a simular a pluma. Se a simulação passar desse número de iterações, significa que não convergiu.

Parâmetros para o cálculo da pluma:

- **Fator Interno de Tempo***:* o SCBR 3.25 divide cada intervalo de tempo definido em subintervalos. O parâmetro *Fator Interno de Tempo* definirá em quantos subintervalos o modelo dividirá, de forma automática, cada intervalo de tempo.

Outras opções:

- **Validação da Intervenção (%):** este parâmetro define o percentual para validação da intervenção.

O comando ***Simular Velocidades*** (Figura 2.17) é usado para o cálculo do campo de velocidades.

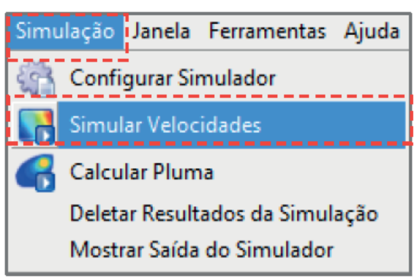


Figura 2.17 Comando Simular Velocidades do item Simulação.

O comando ***Calcular Pluma*** é usado para simular a pluma de contaminação em fase dissolvida da(s) substância(s) química(s) de interesse. Ao clicar no composto químico que se deseja simular, informações sobre a biodegradação e retardo ficam disponíveis para o usuário fazer alterações.

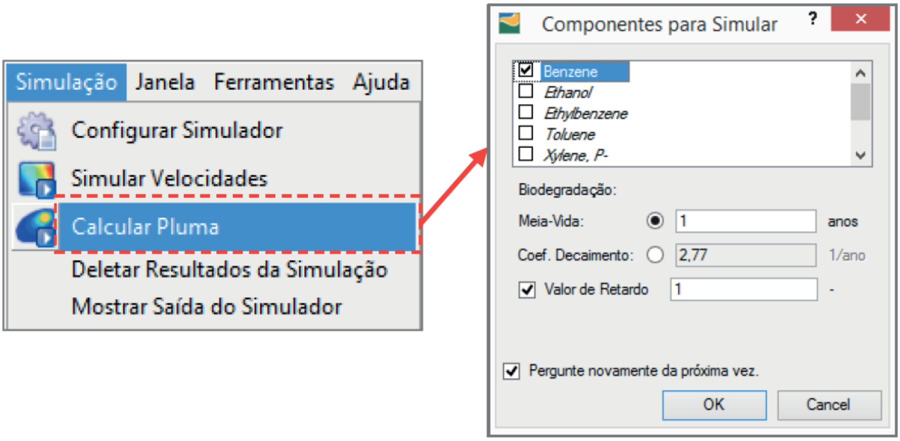


Figura 2.18 Comando Calcular Pluma do item Simulação.

O comando ***Deletar Resultados da Simulação*** apaga o resultado da última simulação (Figura 2.19).

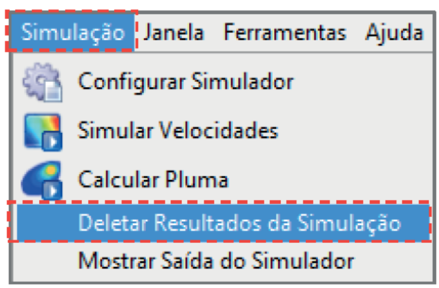


Figura 2.19 Comando Deletar Resultados da Simulação.

O comando ***Mostrar Saída do Simulador*** (Figura 2.20) exibe os dados simulados pelo modelo, referentes à velocidade do fluxo subterrâneo e à pluma de contaminação dissolvida.

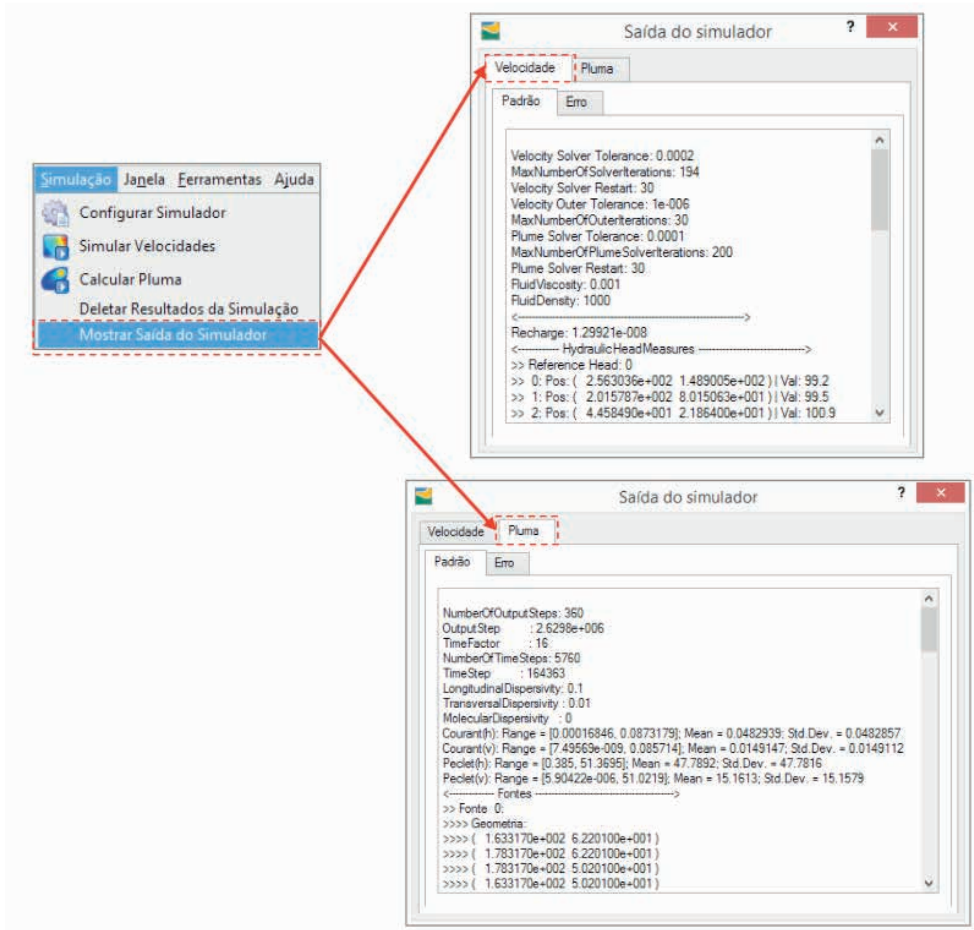


Figura 2.20 Comando Mostrar Saída do Simulador do item Simulação.

<u>Janela:</u> o comando ***Próxima*** mostra a próxima janela de edição; o comando ***Anterior*** mostra a janela anterior; o comando ***Cascata*** organiza todas as janelas em cascata; e o comando ***Lado a Lado*** organiza todas as janelas lado a lado (Figura 2.21).

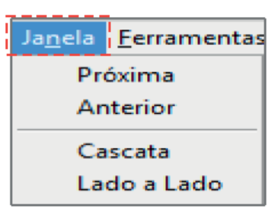


Figura 2.21 Comandos do item Janela.

Ferramentas: no comando ***Opções***, é possível escolher os tipos de alertas, ocultar ou modificar o tamanho da legenda dos Pontos de Análise, como também dos Polígonos adicionados. Basta selecionar a caixa "***Mostrar legenda de pontos de análise"*** e "***Mostrar legenda de polígonos"***, como mostrado na a Figura 2.22.

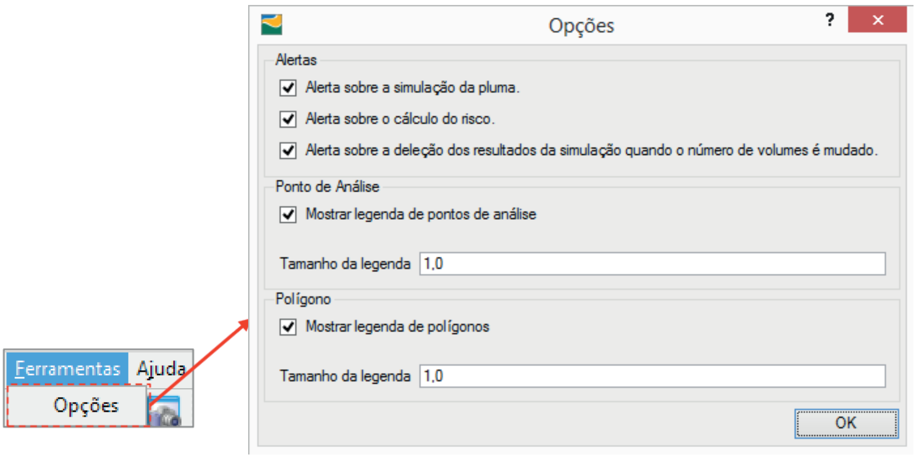


Figura 2.22 Comando Opções do item Ferramenta.

Ajuda: o comando ***Informações da Licença*** mostra e edita o arquivo de licença do SCBR (Figura 2.23); ***Legislação Ambiental*** apresenta as principais legislações ambientais utilizadas no Gerenciamento de Área Contaminadas (Figura 2.24); ***Exemplos*** dá acesso aos exemplos hipotéticos disponíveis (Figura 2.25); e o comando ***Sobre*** mostra as informações da versão do *software* SCBR (Figura 2.26).

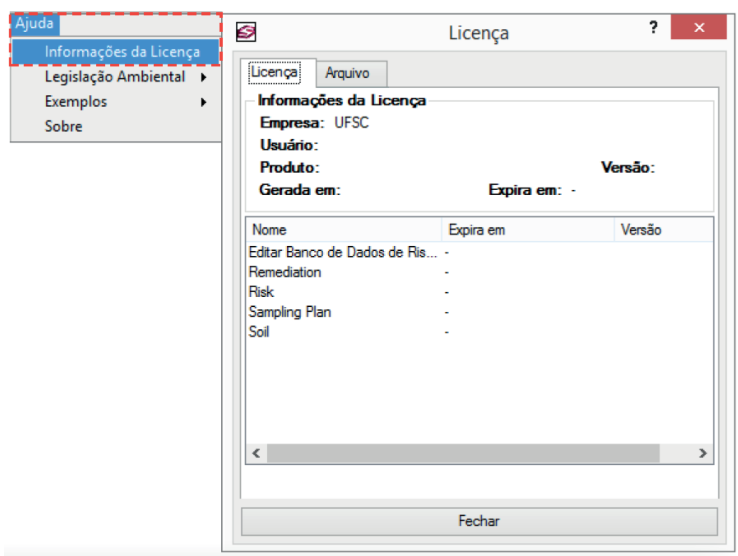


Figura 2.23 Comando Informações da Licença do item Ajuda.

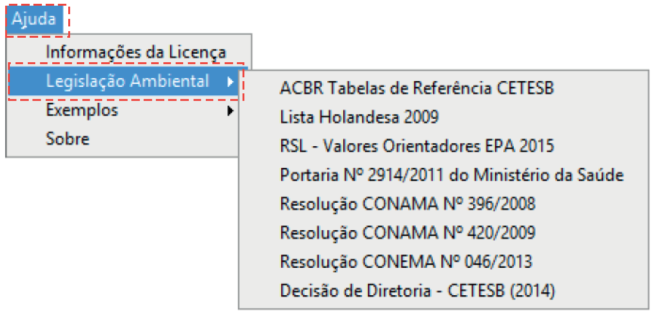


Figura 2.24 Comando Legislação Ambiental do item Ajuda.

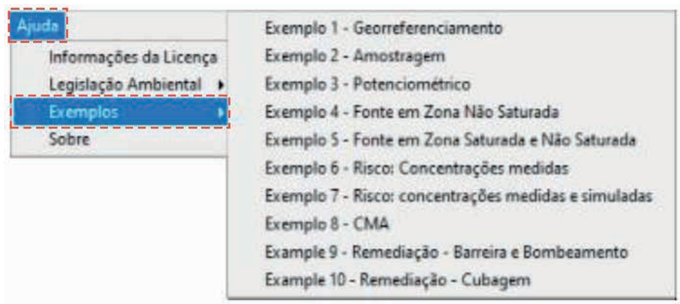


Figura 2.25 Comando Exemplos do item Ajuda.

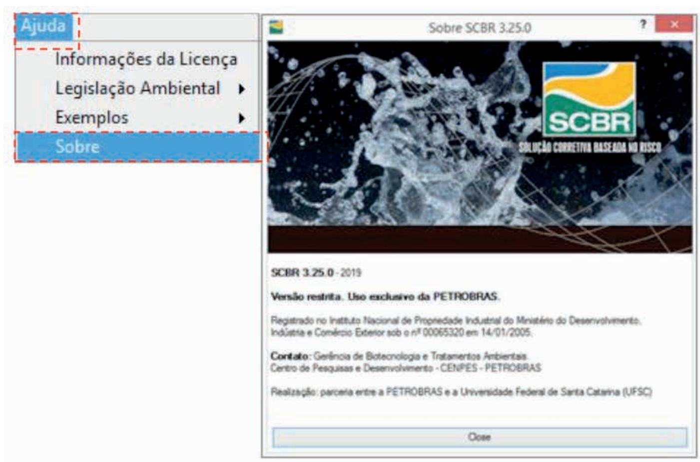


Figura 2.26 Comando Sobre do Item Ajuda.

Barra de Ferramentas: permite uma ação rápida por parte do usuário, facilitando o acesso às funções do programa (Figura 2.27).

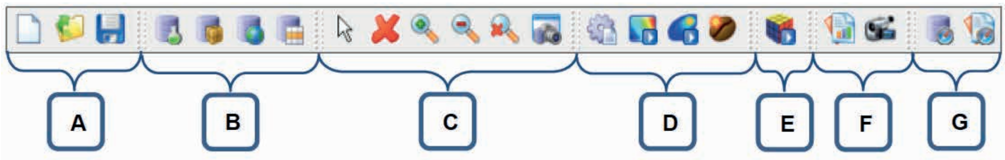


Figura 2.27 Comandos de acesso rápido da Barra de Ferramentas.

A ⇒ Novo; Abrir; Salvar.

B ⇒ Editar Substâncias Químicas do Documento; Editar Produtos do Documento; Editar Hidrogeológicos do Documento; Editar a Base de Dados como Tabela.

C ⇒ Selecionar; Deletar; Aproximar; Afastar; Fotografia.

D ⇒ Configurar Simulador; Simular Velocidades; Calcular Pluma; Mídia Não Saturada Simulada.

E ⇒ Calcular Cubagem.

F ⇒ Assistente de Relatório; Assistente de Vídeo.

G ⇒ Cálculo de Valores Orientadores; Relatório de Valores Orientadores.

Painel de Navegação: permite ao usuário navegar entre os módulos do SCBR e/ou suas opções, como mostrado na Figura 2.28.

Painel de Edição: permite a edição das informações dos parâmetros selecionados.

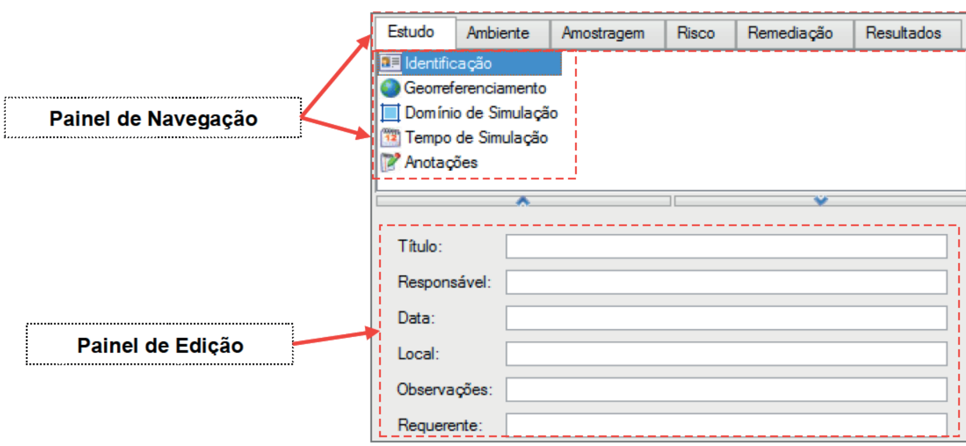


Figura 2.28 Painel de Navegação e Painel de Edição.

Durante a edição ou a inclusão de uma informação em uma caixa de texto do ***Painel de Edição***, o texto aparecerá em vermelho, como mostrado na Figura 2.29.



Figura 2.29 Inclusão de informação no Painel de Edição.

É necessário teclar "*Enter*" ou "TAB", para a informação ser aceita no SCBR (Figura 2.30)

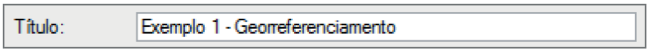


Figura 2.30 Nova informação no Painel de Edição.

2.2. Módulos

Os módulos do SCBR permitem ao usuário configurar o cenário que deseja simular e avaliar os resultados da simulação. A disposição dos módulos é justificada pela ordem das etapas que se segue no gerenciamento ambiental de uma área contaminada. Na versão 3.25, o SCBR possui os seguintes módulos (Figura 2.31):

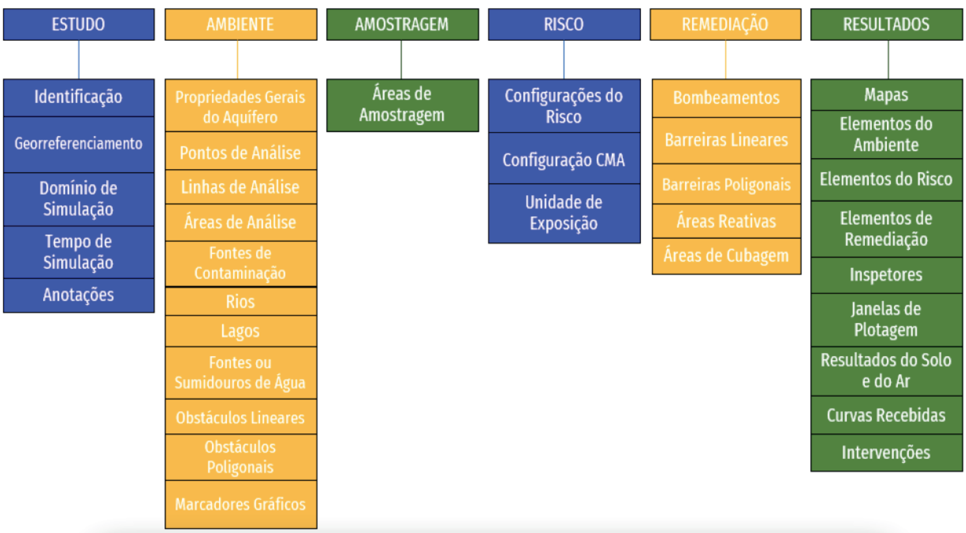


Figura 2.31 Módulos do SCBR na versão 3.25.

2.2.1. Módulo Estudo

O módulo ***Estudo*** é destinado ao fornecimento de informações gerais do cenário da simulação e possui as seguintes opções: **Identificação, Georreferenciamento, Domínio de Simulação, Tempo de Simulação e Anotações (Figura 2.32).**

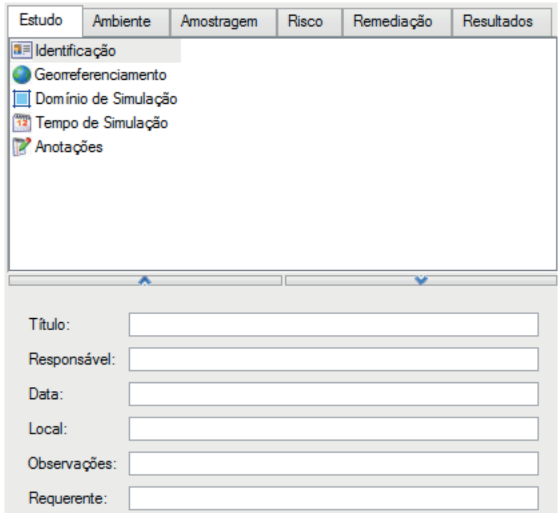


Figura 2.32 Módulo Estudo.

<u>Identificação</u>: a opção contém as informações gerais do estudo e seu preenchimento é opcional. Esta apresenta os seguintes campos (Figura 2.32):

- **Título**: título do estudo;
- **Responsável:** responsável técnico pelo estudo;
- **Data:** data da realização do estudo;
- **Local:** local onde o estudo foi realizado;
- **Observações:** observações referentes ao estudo;
- **Requerente:** pessoa Física ou Jurídica que requisitou o Estudo.

<u>Georreferenciamento</u>: contém as informações a respeito do mapa de base e as coordenadas georreferenciadas da área de estudo (Figura 2.33). O fornecimento de informações na opção *Georreferenciamento* é opcional. Porém, é altamente recomendado que sempre se georreferencie o estudo, mesmo quando não houver mapa base (figura de fundo). Por padrão, o SCBR considera a origem sendo as coordenadas (X = 0; Y = 0) e o limite extremo como sendo a coordenada (50,0 m; 20,0 m).

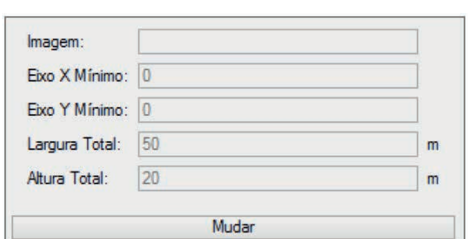


Figura 2.33 Padrão das Coordenadas de Georreferenciamento no SCBR.

O comando ***Ajustar*** ( ) mostra toda a área georreferenciada (área compreendida entre as coordenadas informadas). O comando ***Aproximar*** ( ) tem a função de aumentar o zoom na área georreferenciada e o comando ***Afastar*** ( ) tem a função de diminuir o zoom na área georreferenciada.

Ao clicar em ***Mudar,*** o assistente de Georreferenciamento será aberto. Esse assistente é utilizado para georreferenciar o mapa base.

- **Importar:** importa o mapa base no formato "*.bmp*" ou "*.jpg*";
- **Cancelar:** cancela o mapa base importado;
- **Pontos de Referência:** são posições com coordenadas conhecidas. É obrigatório informar dois pontos de referência e suas respectivas coordenadas, a fim de georreferenciar o mapa base (Figura 2.34). Para mover o ponto de referência até o ponto conhecido basta clicar com o *botão esquerdo* do mouse e arrastá-lo até o ponto conhecido e, então, digitar as coordenadas x e y na respectiva *caixa de texto*. Pressionando o *net scroll* (botão de rolagem do mouse) e arrastando o mouse, a figura pode ser aumentada ou diminuída (*zoom*). Pressionando o botão direito do mouse, a figura pode ser movimentada na Área de Visualização do Georreferenciamento.

IMPORTANTE: no georreferenciamento as coordenadas "x" e "y" dos dois pontos de referência devem ser diferentes para que o SCBR estime o comprimento e largura da imagem inserida.

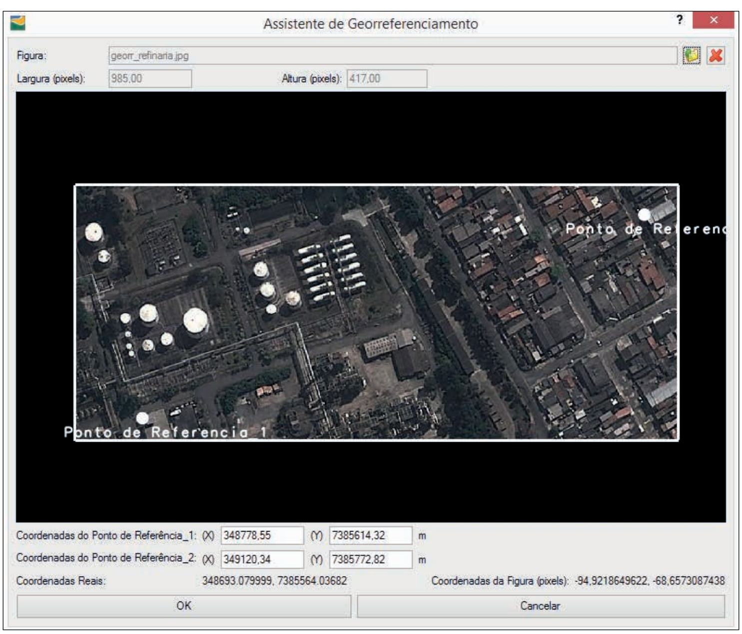


Figura 2.34 Georreferenciamento do mapa base.

<u>Domínio de Simulação</u>: permite configurar o tamanho e a orientação da área onde será feita a simulação (Figura 2.35). A princípio, a melhor configuração (situação ideal) é aquela que aproxima ao máximo o domínio de simulação aos pontos de análise (Figura 2.36).

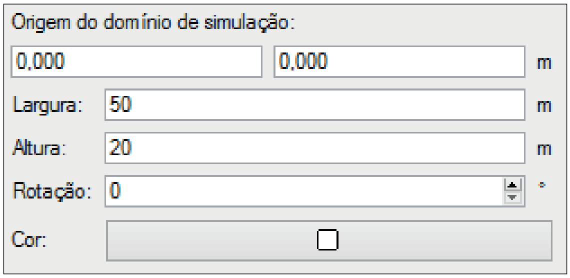


Figura 2.35 Informações do Domínio de Simulação.

<u>Situação não ideal</u>:



<u>Situação ideal</u>

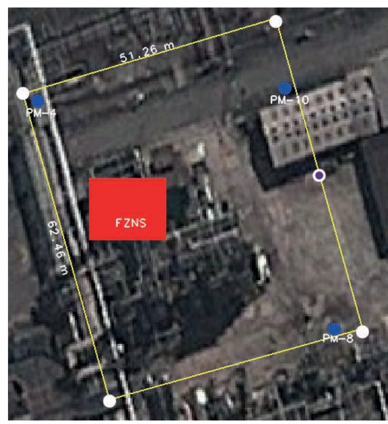


Figura 2.36 Configuração do Domínio de Simulação.

A opção ***Domínio de Simulação*** contém as seguintes informações no *Painel de Edição*:

- **Origem do domínio de simulação (m):** coordenadas onde será fixada a origem do domínio de simulação.
- **Largura (m)**: largura do domínio de simulação.
- **Altura (m)**: altura do domínio de simulação.
- **Rotação (º)**: ângulo de rotação do domínio de simulação.
- **Cor**: configura a cor da linha limite do domínio de simulação.

O dimensionamento do domínio de simulação também pode ser feito de maneira manual (Figura 2.37), clicando-se nos nós laterais (nós em vermelho na figura ao lado) e arrastando-os para a posição desejada, sendo que a rotação pode ser ajustada clicando-

se no nó central (nó em azul na figura ao lado) e rotacionando para o ângulo desejado. Quando ajustado o domínio manualmente, o SCBR atualizará automaticamente as novas informações no painel de edição.

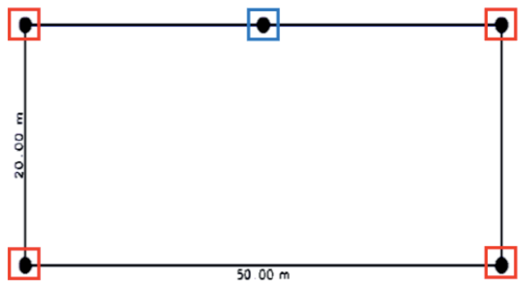


Figura 2.37 Dimensionamento manual do Domínio de Simulação.

Tempo de Simulação: a opção *Tempo de Simulação* permite configurar os parâmetros referentes à evolução temporal do estudo (Figura 2.38).

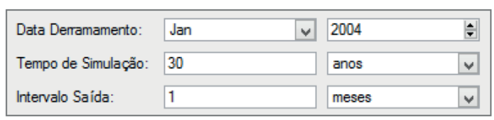


Figura 2.38 Informações do Tempo de Simulação.

- **Data Derramamento:** refere-se à data estimada da ocorrência do derramamento;
- **Tempo de Simulação:** corresponde ao número de dias, semanas, meses ou anos no qual o modelo simulará o transporte da pluma de contaminantes em fase dissolvida;
- **Intervalo Saída:** corresponde ao passo temporal da simulação, ou seja, o intervalo de tempo de saída da simulação no módulo ***Resultados*** e nos relatórios.

Anotações: a opção *Anotações* permite fazer observações sobre o estudo. Estas anotações serão incorporadas ao relatório gerado pelo SCBR, permitindo assim uma maior customização (Figura 2.39).

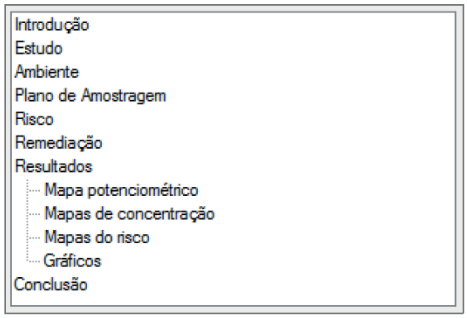


Figura 2.39 Opção Anotações.

2.2.2. Módulo Ambiente

O módulo ***Ambiente*** é destinado à entrada de informações específicas e pontuais. Neste módulo serão criados e configurados os elementos que vão compor o cenário de simulação. O módulo ***Ambiente*** possui os seguintes elementos: *Propriedades Gerais do Aquífero, Dispersividade, Sorção, Pontos de Análise, Linhas de Análise, Áreas de Análise, Fontes de Contaminação, Rios, Lagos, Fontes ou Sumidouros de Água, Obstáculos Lineares, Obstáculos Poligonais e Marcadores Gráficos* (Figura 2.40). Estes elementos serão utilizados para definir as condições de contorno da modelagem matemática.

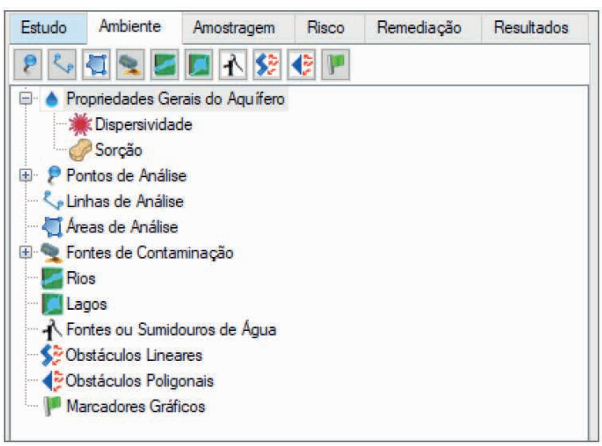


Figura 2.40 Módulo Ambiente.

<u>Barra de Elementos (Módulo Ambiente)</u>*:** os elementos do módulo ***Ambiente estão agrupados na ***Barra de Elementos do Módulo Ambiente.*** Para adicionar um elemento ao cenário, selecione o elemento e insira na posição da área de visualização desejada. Os elementos são apresentados na Figura 2.41.

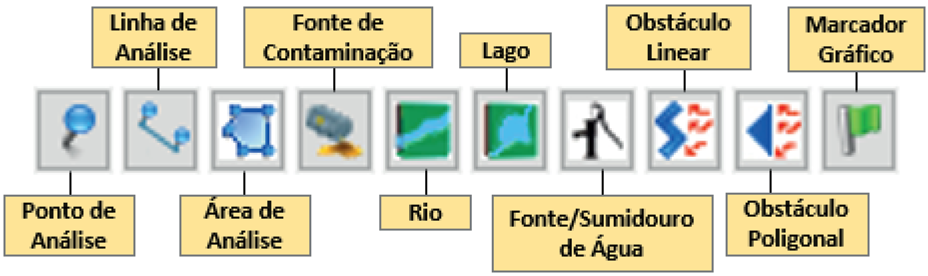


Figura 2.41 Barra de Elementos do Módulo Ambiente.

Ao criar qualquer elemento do módulo ***Ambiente***, os parâmetros *Nome* (nome do elemento) e *Posição* (coordenadas do elemento) são comuns a todos eles. Para *Pontos de Análise* e *Fontes ou Sumidouros de Água,* a característica *Posição* refere-se à posição exata do elemento. Para os demais (*Área de Análise, Linhas de Análise, Fontes de Contaminação, Rios, Lagos, Obstáculos Lineares, Obstáculos Poligonais, Marcadores Gráficos*), refere-se à posição do centroide do elemento.

Propriedades Gerais do Aquífero: esta opção permite configurar os valores genéricos das propriedades para o local do estudo: *Hidrogeologia (Tipo de Solo, Porosidade Efetiva, Condutividade Hidráulica), Recarga* e *Cota Base do Aquífero.*

- **Hidrogeologia:** o botão ***Escolher Solo*** (Escolher solo ...) mostra a lista de tipos de solos disponíveis contidos na base de dados do SCBR. A escolha de um tipo de solo (areia fina, argila, cascalho etc.) neste item implica em se atribuir valores tabelados, referentes às propriedades *Porosidade* e *Condutividade Hidráulica,* para todo domínio de simulação. Valores específicos do local deverão ser utilizados nos casos onde existam valores de campo para essas duas propriedades. Neste caso, a escolha do tipo de solo não será feita por meio do botão, mas inserindo manualmente o valor nesses campos:
    - *Porosidade Efetiva (adimensional):* porosidade efetiva representa os espaços intersticiais do solo disponíveis para o escoamento do fluído;
    - *Condutividade Hidráulica (cm/s):* derivada da Lei de Darcy, a condutividade hidráulica é o principal parâmetro para definição da velocidade da água subterrânea no meio poroso saturado;
    - *Recarga (mm/ano):* representa recarga do aquífero na zona saturada do solo. A recarga é considerada constante em todo o domínio de simulação;
    - *Cota Base do Aquífero (m):* representa a cota de fundo do aquífero, geralmente referenciado em relação ao nível do mar (*Datum*). Os valores de carga hidráulica informados no módulo ***Ambiente*** não poderão ser inferiores ao valor inserido para a cota base do aquífero.

Dispersividade: a opção permite configurar a forma como o SCBR aborda o fenômeno da dispersão (Figura 2.42). O valor de dispersividade pode ser informado diretamente pelo usuário ou calculado por meio do *Comprimento Característico*. (Para mais detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

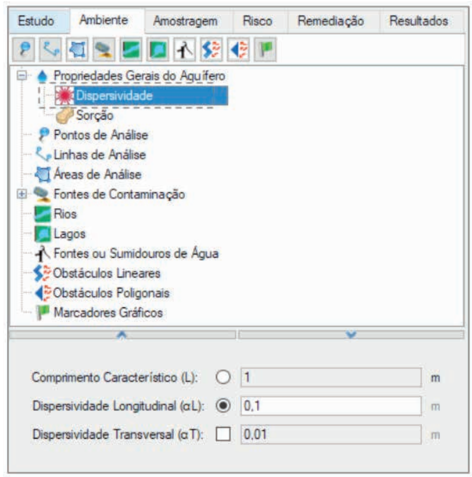


Figura 2.42 Opção Dispersividade.

- <u>*Comprimento Característico (m):*</u> utilizado para o cálculo da dispersividade longitudinal (αL);
- <u>*Dispersividade Longitudinal (m):*</u> selecionando-se esta opção, ao invés de informar o *Comprimento Característico*, deve-se informar diretamente o valor do parâmetro *Dispersividade na direção longitudinal* (α_L);

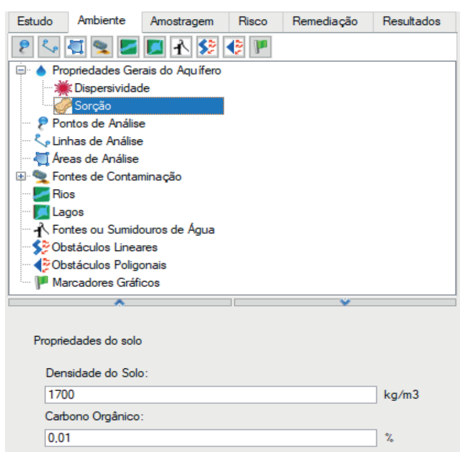


Figura 2.43 Opção Sorção.

- <u>*Dispersividade Transversal (m):*</u> selecionando-se esta opção deve-se informar diretamente o valor do parâmetro *dispersividade na direção transversal* (α_T). Caso a caixa de seleção da *Dispersividade Transversal* não seja selecionada, o SCBR considera que o valor deste parâmetro é igual a 10% do valor da *Dispersividade Longitudinal.*

<u>Sorção:</u> contém as informações necessárias para a simulação do fenômeno de ***Sorção*** (Figura 2.43). (Para mais detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

- *<u>Densidade do Solo (kg/m3):</u>* a densidade da matriz do aquífero está relacionada à porosidade total e à densidade dos grãos que compreendem o aquífero;
- *<u>Carbono Orgânico (%):</u>* representa a porcentagem de carbono orgânico naturalmente presente no solo (zona saturada).

Há, portanto, duas formas de informar os valores de *Porosidade Efetiva, Condutividade Hidráulica, Densidade do Solo e Carbono Orgânico*: por meio de valores genéricos para toda a área do estudo ou por meio de valores específicos para diferentes pontos de análise. O SCBR preferencialmente utiliza os valores específicos informados na opção *Pontos de Análise* do módulo Ambiente. Caso não existam informações específicas para nenhum ponto de análise de determinado parâmetro, o SCBR utilizará então os valores genéricos informados na opção *Propriedades do Aquífero* do módulo Ambiente.

<u>Pontos de Análise:</u> um ponto de análise (Figura 2.44 e Figura 2.45) representa informações de uma análise pontual. Para os valores de carga hidráulica dos pontos de análise (Figura 2.46), o SCBR utiliza a interpolação de dados para definir a condição de contorno do domínio de simulação, ou seja, os pontos de análise receberão o valor calculado pelo modelo.

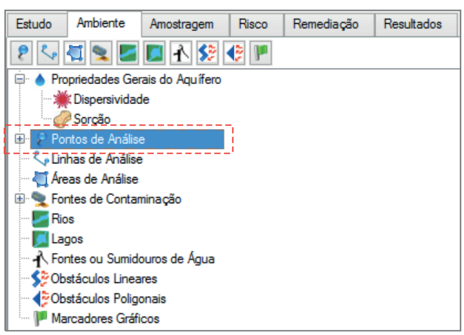


Figura 2.44 Opção Pontos de Análise.



Figura 2.45 Exemplificação dos pontos de análise no domínio de simulação.

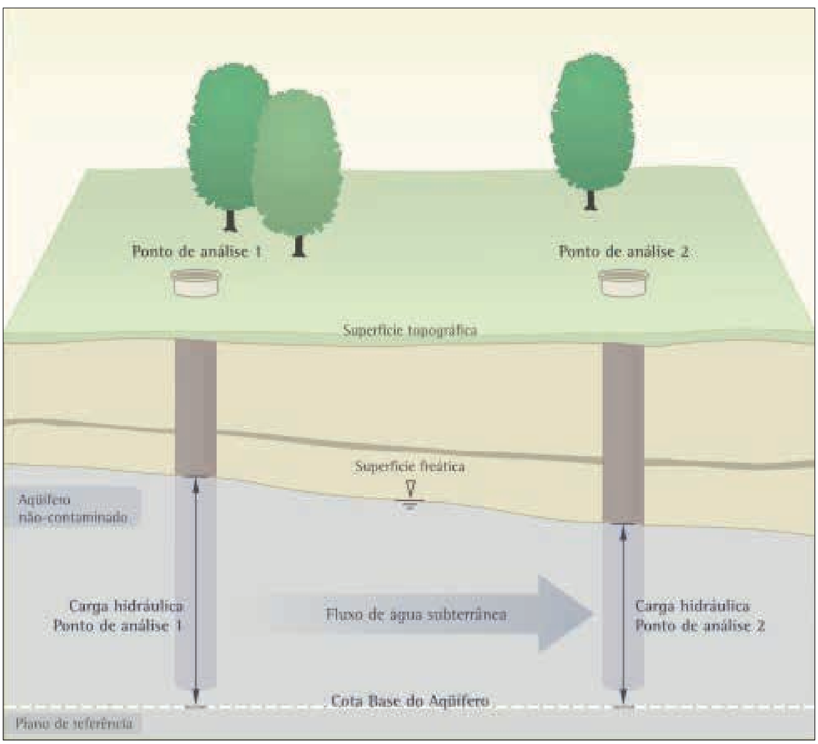


Figura 2.46 Ilustração dos pontos de análise e suas cargas hidráulicas.

O painel de edição de *Pontos de Análise* é composto por quatro submenus, como mostrado na Figura 2.48: *Propriedades do Aquífero, Biodegradação, Sorção e Concentrações Observadas.*

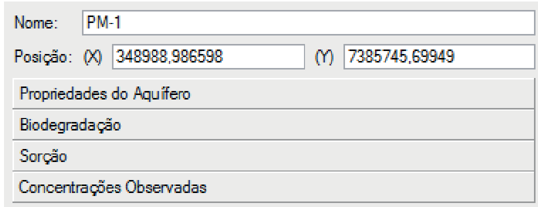


Figura 2.47 Painel de edição de Pontos de Análise.

A adição dos pontos de análise pode ser feita de duas maneiras:

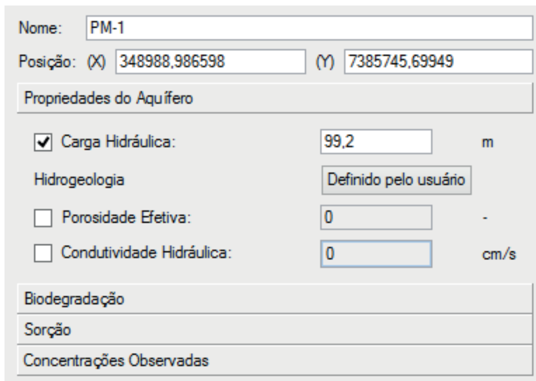


Figura 2.48 Inserção manual de Pontos de Análise.

- _Barra de elementos_: clicar com o mouse no ícone ( ) correspondente aos *Pontos de Análise* e em seguida clicar no domínio de simulação no local referente ao ponto. Após adição do ponto é possível caracterizá-lo através dos seus subitens (nome, posição, propriedades do aquífero, biodegradação, sorção e concentrações observadas) (Figura 2.48);
- _Editar Pontos de Análise_: outra maneira é clicando sobre a opção *Pontos de Análise*, em que aparecerá no painel de edição o botão *“Editar Pontos de Análise”*. Clicando sobre ele abrirá uma planilha na qual é possível colocar as características do ponto (Figura 2.49).

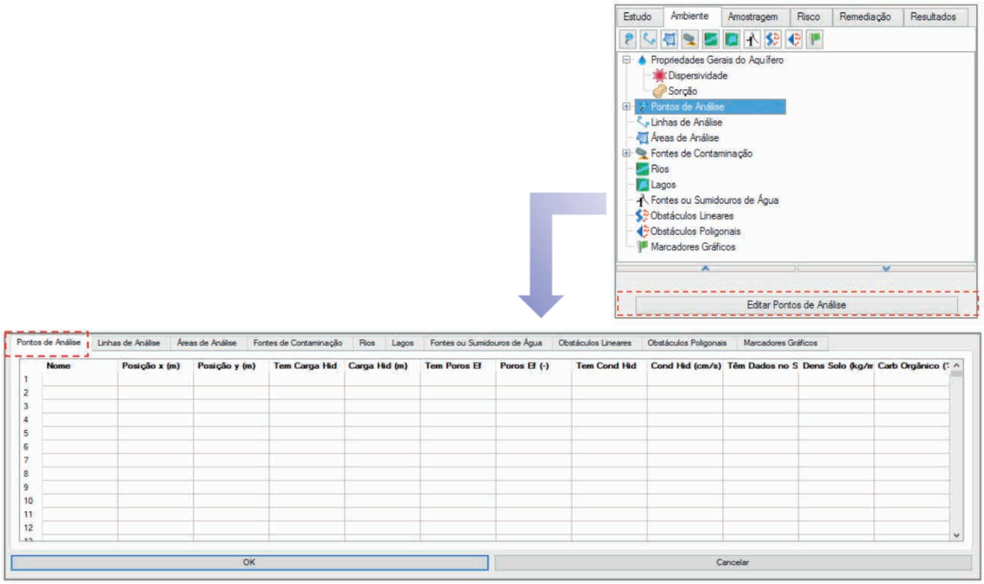


Figura 2.49 Inserção dos Pontos de Análise por meio de tabelas.

<u>Propriedade do Aquífero:</u> este submenu (Figura 2.50) permite atribuir valores específicos de carga hidráulica, porosidade efetiva e condutividade hidráulica. Neste último (condutividade hidráulica), o valor atribuído valerá para o determinado ponto ou, no caso que se tenha somente esse valor dentre os outros pontos de análise, valerá para todo o domínio.

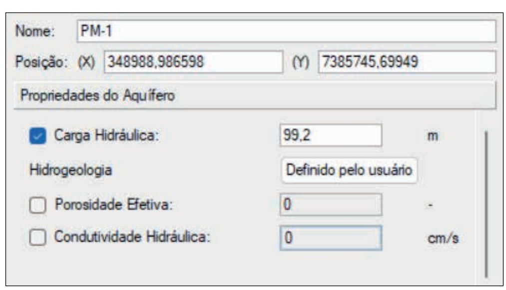


Figura 2.50 Submenu Propriedade do Aquífero.

- <u>Carga Hidráulica:</u> é uma informação de campo que representa a carga total da água (carga de pressão + carga de posição). O SCBR necessita de, no mínimo, 3 (três) pontos de análise com valores diferentes de carga hidráulica para simular o mapa potenciométrico;
- <u>Hidrogeologia:</u> o botão "*Escolher Solo*" mostra a lista dos tipos de solos disponível no banco de dados. Ressalta-se que estes valores são apenas uma referência e, portanto, recomenda-se a utilização preferencial dos dados medidos do local estudado;

- Porosidade Efetiva: porosidade efetiva medida no ponto;
- Condutividade Hidráulica: condutividade hidráulica medida no ponto.

Quando existirem valores pontuais provenientes de análises da **Porosidade Efetiva** e/ou da **Condutividade Hidráulica**, deve-se selecionar a caixa de seleção do respectivo parâmetro e informar o valor. Neste caso, o SCBR utilizará os valores medidos e que serão interpolados pelo método do “vizinho mais próximo” às regiões onde não se tem valor medido. Caso não existam valores para estes parâmetros em nenhum ponto de análise, o SCBR utilizará o valor fornecido em *Propriedades Gerais do Aquífero* como sendo uma média para a área toda.

Biodegradação: este submenu permite atribuir valores específicos de ***Coeficiente de Decaimento (1/ano)*** ou ***Meia-Vida (ano)*** dos contaminantes para o ponto de análise (Figura 2.51). Para atribuir um valor de biodegradação a um determinado composto, é necessário clicar sobre um ponto de análise. O modelo SCBR exibe a janela abaixo, onde deve ser selecionada a substância desejada, clicando na respectiva caixa de seleção e escolhendo-se entre *Coeficiente de Decaimento* ou *Meia-Vida* e por fim digitando o valor.

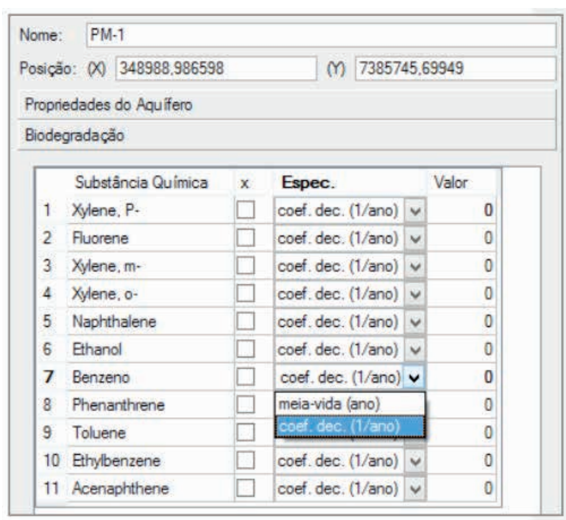


Figura 2.51 Submenu Biodegradação.

Sorção: este submenu (Figura 2.52) permite atribuir valores específicos de ***Densidade do Solo (kg/m³)*** e ***Carbono Orgânico (%)*** para o ponto de análise, na qual serão interpolados pelo método “vizinho mais próximo” ao restante da área, e pontos que não possuem valor atribuído. Para atribuir os valores dos parâmetros responsáveis pela sorção ao elemento, selecione a caixa de seleção e digite os valores.

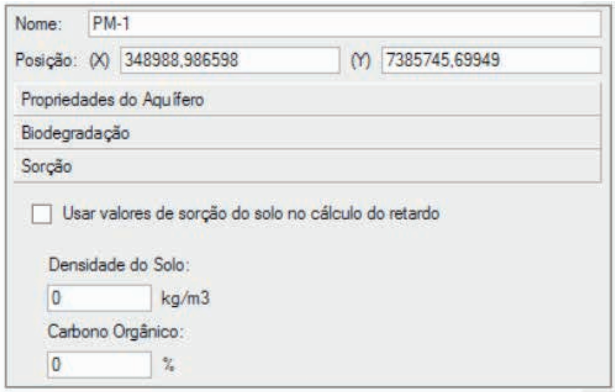


Figura 2.52 Submenu Sorção.

OBS: Para as áreas do domínio de simulação e pontos de análise que não se tem os parâmetros hidrogeológicos **condutividade hidráulica**, **porosidade efetiva**, **densidade do solo** e **carbono orgânico**, o SCBR utiliza o método de interpolação *"Vizinho mais Próximo"* para atribuir valores para esses parâmetros. Assim, são gerados mapas 2D da condutividade hidráulica e porosidade efetiva para todo o domínio de simulação, e a partir de valores de densidade do solo e carbono orgânico, o cálculo do retardo para o transporte de contaminantes.

Concentrações Observadas: este submenu permite informar pontualmente valores de concentrações medidas exclusivamente na água subterrânea (Figura 2.53). Estes valores inseridos pelo usuário serão exibidos no gráfico gerado do contaminante no ***ponto de análise,*** no módulo ***Resultados***, e servirão como um indicativo do estado da calibração da simulação do transporte do contaminante no meio saturado. Para adicionar concentrações observadas, clique no botão ***Mudar*** e uma caixa de diálogo será aberta. Clique, então, no botão ***Adicionar*** ou no botão ***Remove*** para adicionar ou remover concentrações observadas.

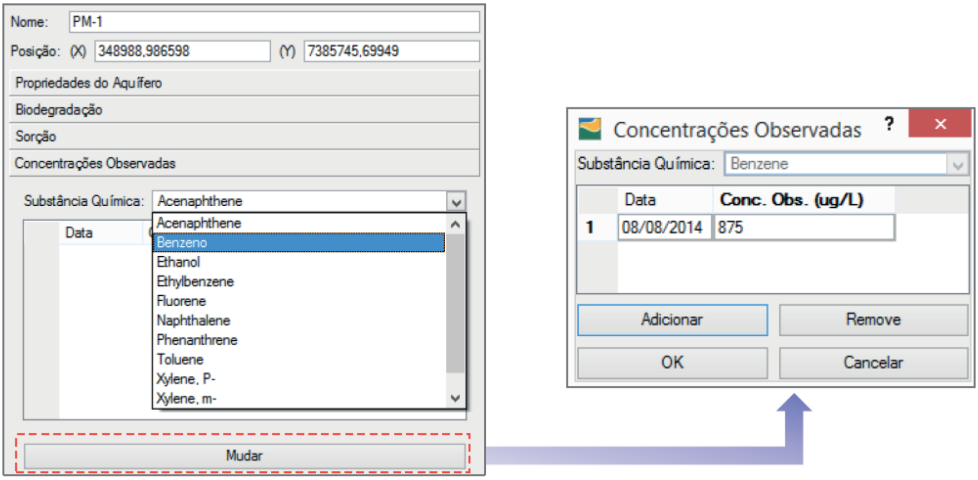


Figura 2.53 Submenu Concentrações Observadas.

Para inserir valores de concentrações medidas em um ponto de análise é necessário antes o usuário caracterizar a ***Fonte de Contaminação*** e escolher o composto/produto químico de interesse. Dessa forma, o composto/produto estará disponível em ***Concentrações Observadas.***

O SCBR permite que o usuário crie gráficos de concentração *versus* tempo em um determinado ponto de análise. Para isso, o usuário deve clicar no módulo *Resultados* (1), *Elementos do Ambiente → Pontos de Análise* (2). No Painel de Edição, o usuário deve clicar em *Concentração* (3) (neste caso, concentração do contaminante benzeno), em seguida clicar no botão *"Criar gráfico no documento atual"* (4) e por fim, *"Nova Janela"* (5) (Figura 2.54 e Figura 2.55).

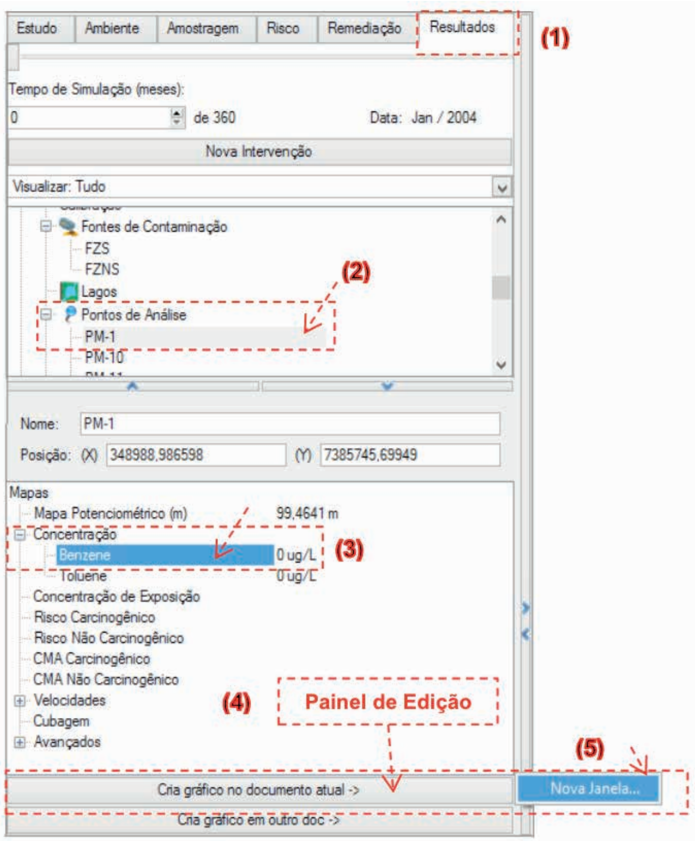


Figura 2.54 Concepção do Gráfico de concentração *versus* tempo.

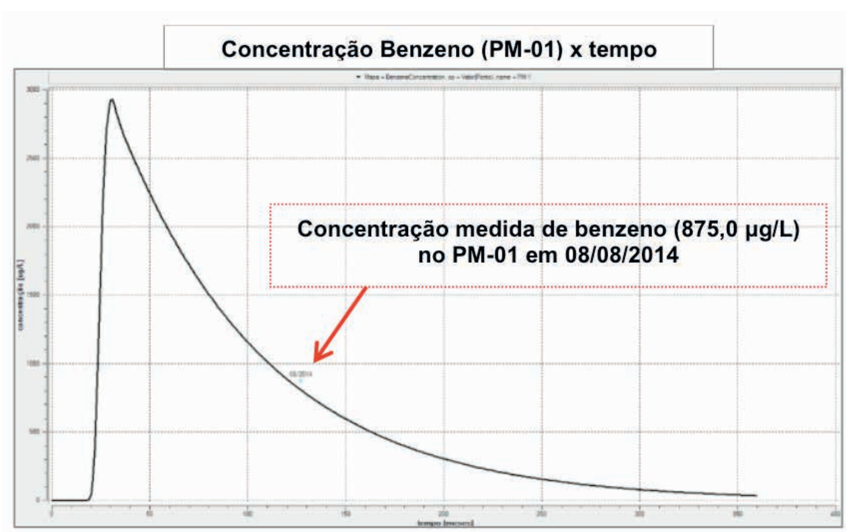


Figura 2.55 Gráfico de concentração *versus* tempo.

***<u>Áreas de Análise</u>*:** similares aos pontos de análise, também informam os dados de campo de uma região específica (região com características hidrogeológicas diferente de todo o domínio de simulação). A diferença é que, enquanto o primeiro representa informações de uma análise pontual (piezômetros, poços de monitoramento), este atribui a toda área referida um mesmo valor. Possui os mesmos subitens de *Pontos de Análise*, acrescido do subitem Vértice.

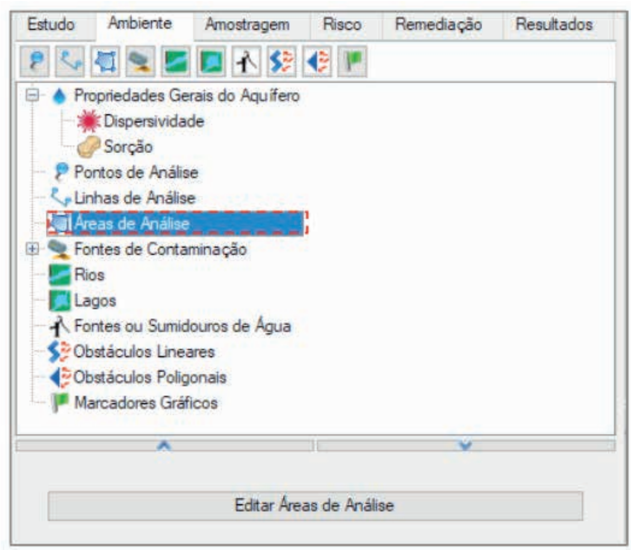


Figura 2.56 Opção Áreas de Análise.

Para adicionar uma Área de Análise o procedimento é o mesmo que se segue em Pontos de Análise. Pode ser criado através da figura correspondente na *Barra de Elementos* e clicando no domínio de simulação com o botão esquerdo do mouse, terminando de delimitar a área com o botão direito; ou através da opção *"Editar Áreas de Análise* presente no **Painel de Edição***.*

- <u>Vértices:</u> durante a delimitação da Área de Análise, cada clique do botão esquerdo do mouse cria um ***vértice*** da área de análise. Ao clicar com o botão direito do mouse, encerra-se a criação do elemento. Para maior precisão, podem-se alterar as coordenadas por meio deste submenu (Figura 2.57).

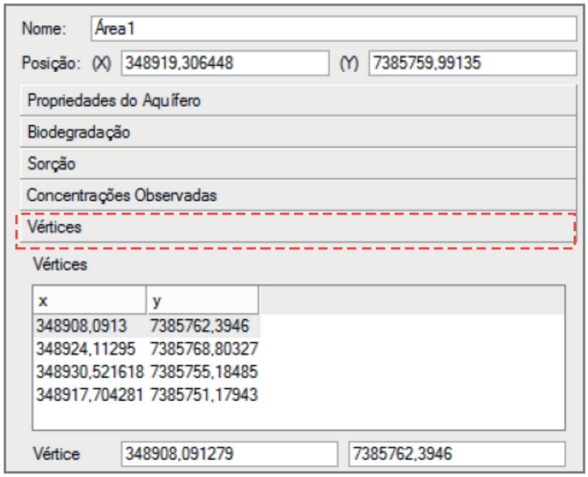


Figura 2.57 Submenu Área de Análises.

<u>Linhas de Análise</u>: tem o objetivo de estabelecer condições de contorno fixas ou variáveis ao longo de sua extensão. Para tal, o usuário tem que atribuir ao longo dos trechos estabelecidos entre os vértices, um valor de carga hidráulica.

Para adicionar *Linhas de Análise* o procedimento é o mesmo que se segue em Pontos de Análise. Pode ser criado através da figura correspondente na Barra de Elementos e clicando no domínio de simulação com o botão esquerdo do mouse, finalizando a criação da linha de análise com o botão direito. Ou a partir do botão *Editar Linhas de Análise* e inserir o elemento a partir de suas coordenadas (Figura 2.58).

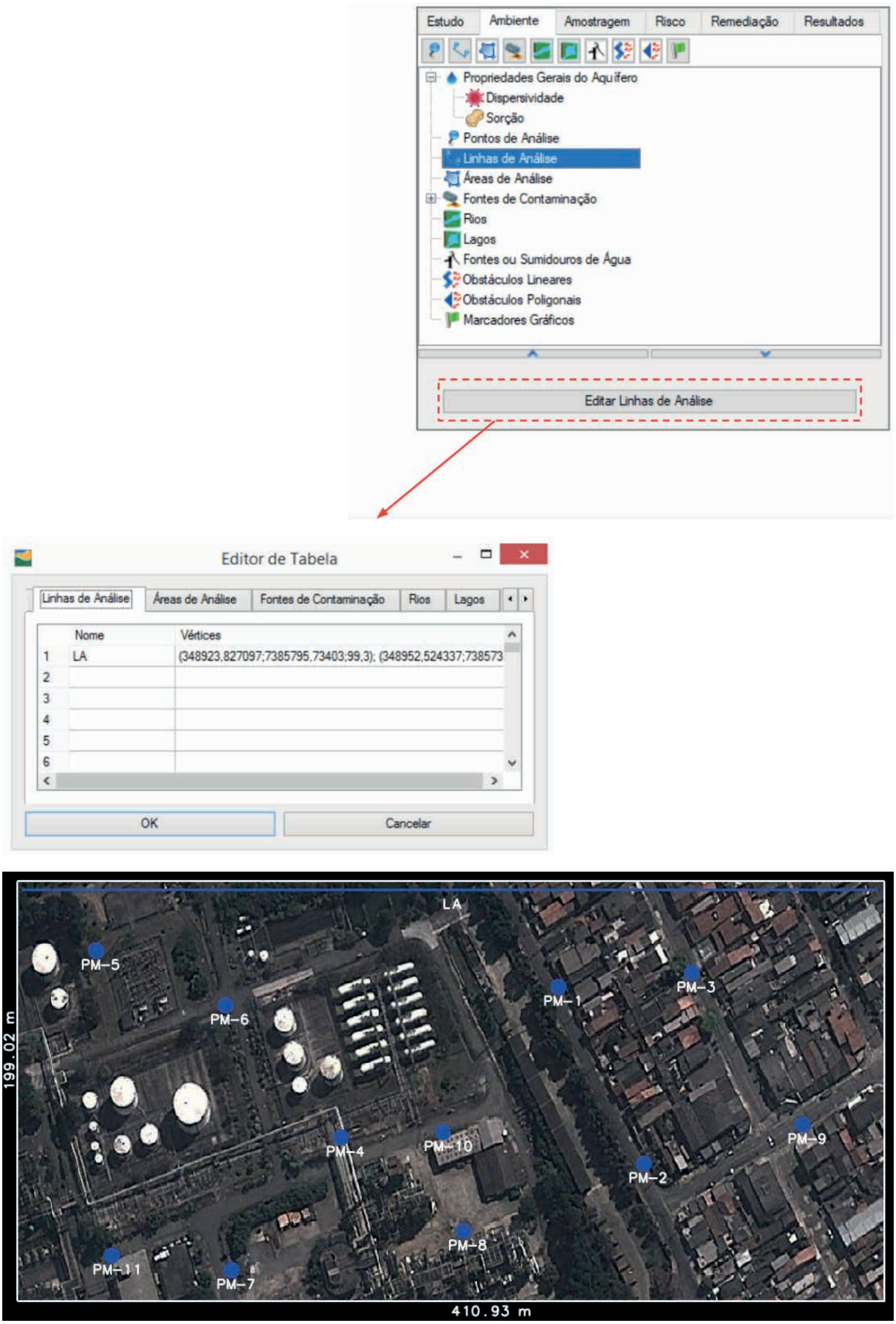


Figura 2.58 Exemplificação de uma linha de análise na defintção de contorno para o fluxo subterrâneo.

Ao finalizar a criação de uma linha de análise, uma nova janela (Figura 2.59) se abre para o preenchimento dos valores de carga hidráulica.

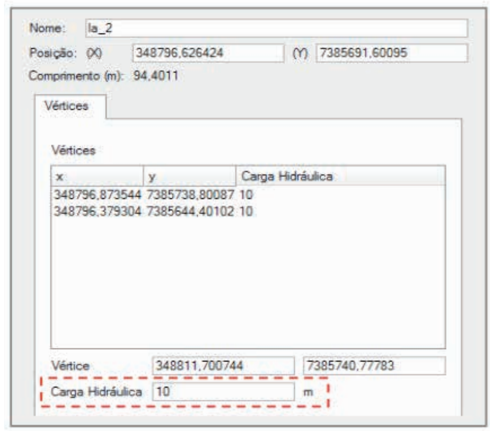
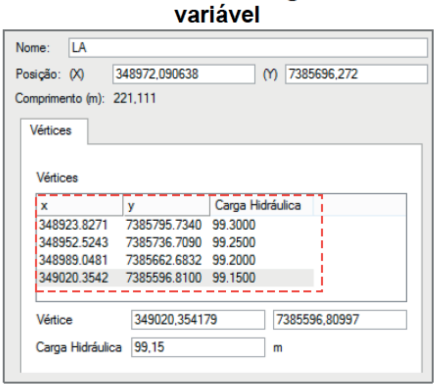


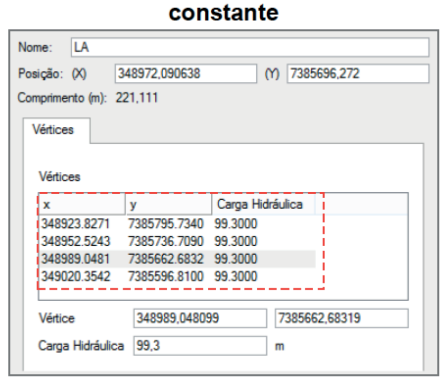
Figura 2.59 Valor da Carga Hidráulica.

A partir da Linha de Análise, é possível o usuário definir condições de contorno (rios, lagos, relevos, aterros etc.) com valores de carga hidráulica variáveis ao longo do trecho traçado. Assim, a Linha de Análise será composta por vários vértices, em que cada trecho possuirá valor distinto de carga hidráulica (Figura 2.60). Da mesma forma, o usuário também poderá atribuir valor constante de carga hidráulica em toda Linha de Análise.

Linha de Análise com carga hidráulica variável



Linha de Análise com carga hidráulica constante



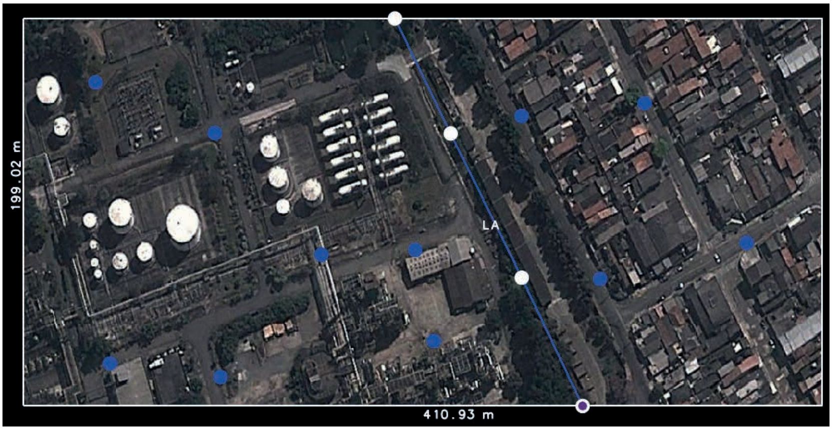


Figura 2.60 Exemplificação de uma Linha de Análise composta por vários trechos.

<u>Áreas de Análise</u>: similares aos pontos de análise, também informam os dados de campo de uma região específica (região com características hidrogeológicas diferente de todo o domínio de simulação). A diferença é que enquanto o primeiro representa informações de uma análise pontual (piezômetros, poços de monitoramento), este atribui a toda área delimitada um mesmo valor (Figura 2.61). Possui as mesmas informações de *Pontos de Análise*, acrescido do subitem *Vértice*.

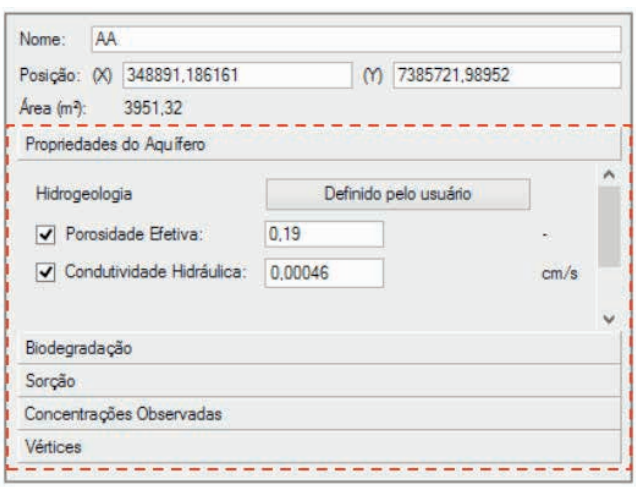


Figura 2.61 Opção Áreas de Análise.

A criação de *Áreas de Análise* pode ser realizada através do ícone ( ) na Barra de Elementos e clicando no domínio de simulação com o botão esquerdo do mouse, finalizando a criação com o botão direito. Ou a partir do botão *Editar Áreas de Análise* e inserir o elemento a partir de suas coordenadas (Figura 2.62).

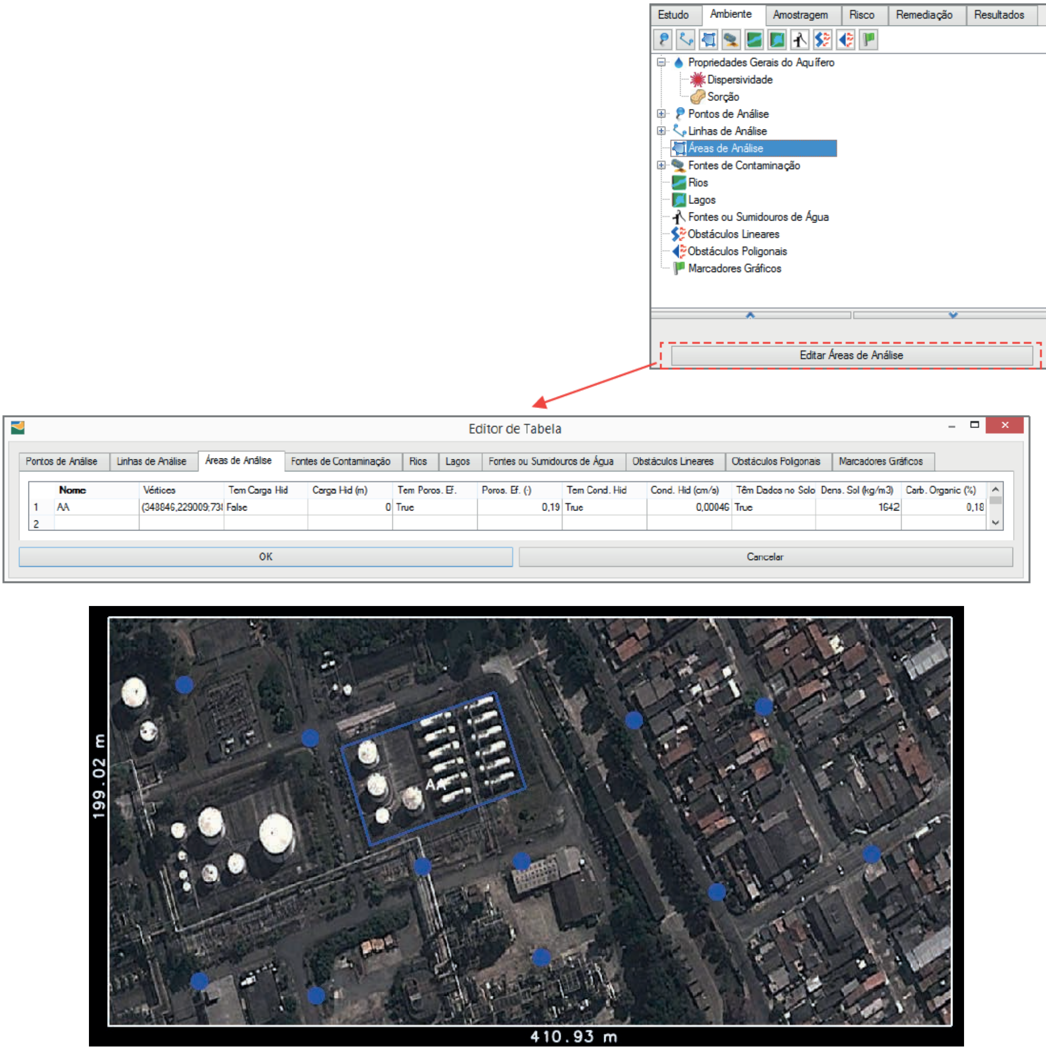


Figura 2.62 Exemplificação de uma Área de Análise.

__Fonte de Contaminação__: identifica o local onde ocorreu um derramamento (por exemplo) e/ou se encontra o produto que se queira simular (a depender do modelo conceitual elaborado pelo usuário). O SCBR trabalha com duas abordagens para fontes de contaminação: **fonte na zona saturada** e **fonte na zona não saturada**.

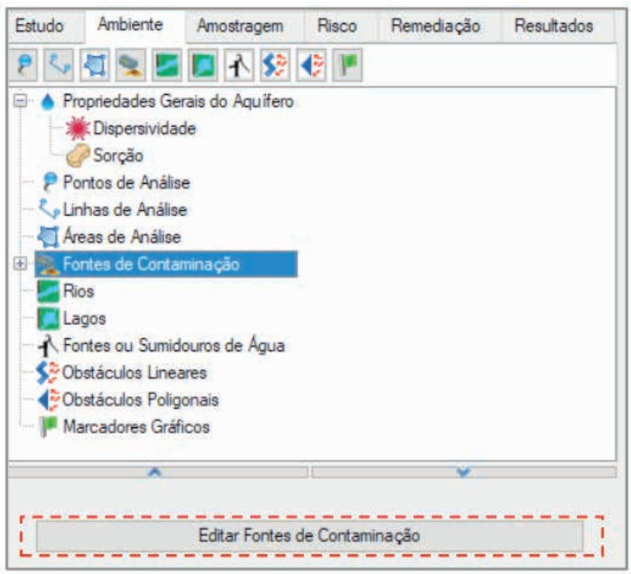


Figura 2.63 Opção Fonte de Contaminação.

__Fonte na Zona Saturada:__ a primeira abordagem considera a fonte na **zona saturada** do solo, ou seja, considera-se que a fonte de contaminantes em contato direto com o aquífero (Figura 2.64). Esta abordagem é mais conservadora, pois desconsidera a biodegradação e o tempo de lixiviação da fonte na zona não saturada.

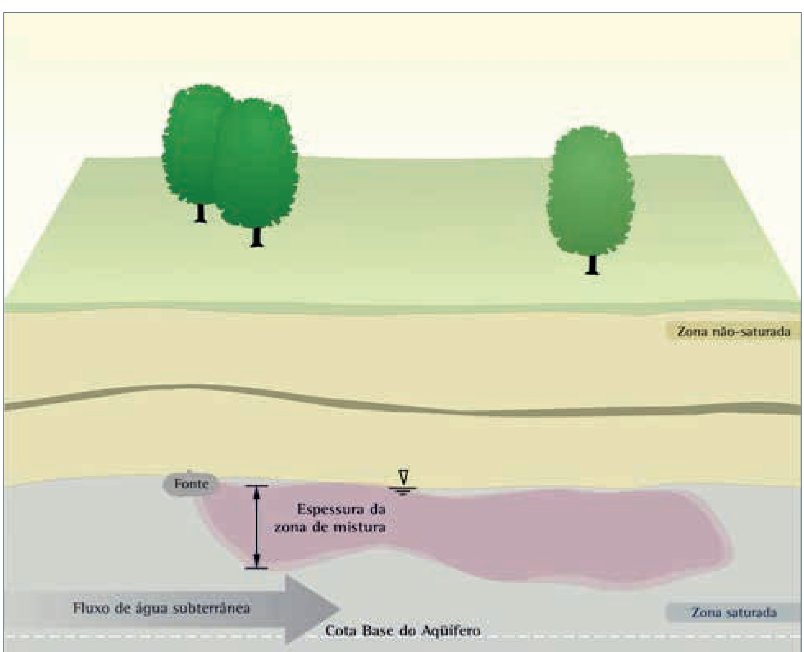


Figura 2.64 Modelo conceitual da fonte de contaminação na zona saturada.

- *Nome e Posição (X, Y):* no campo *Nome* deve ser inserido o nome da fonte de contaminação que o usuário deseja chamar. As informações de (x) e (y) do campo *Posição* são referentes à coordenada central da fonte de contaminação desenhada.

- *Produto:* no caso da fonte na zona saturada deverá ser informada uma estimativa do volume do produto derramado e da espessura da zona de mistura (Figura 2.65). O ***Produto Derramado*** é um produto ou composto químico da base de dados e é informado por meio do botão Escolher ... .

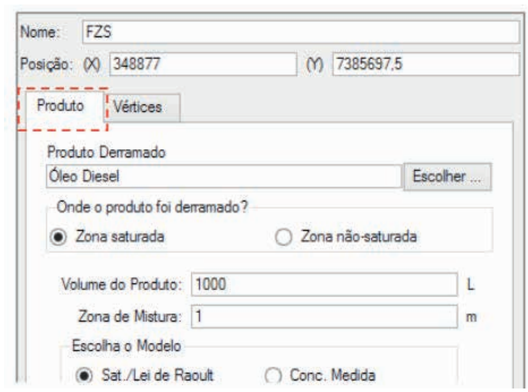


Figura 2.65 Informações da Fonte de Contaminação na Zona Saturada.

- *Sat/Lei de Raoult:* por padrão, na abordagem da fonte na zona saturada, o SCBR utilizará a Lei de Raoult para determinar a concentração aquosa na região do aquífero em contato com a fonte (para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

A ***Zona de Mistura*** representa a espessura vertical da zona de mistura da pluma dissolvida (Figura 2.64). Considerando-se que o SCBR é um modelo de simulação bidimensional, assume-se que a espessura da zona de mistura é constante ao longo da pluma. Portanto, esta variável representa a espessura vertical da pluma simulada.

Além da abordagem da Lei de Raoult para determinação da concentração aquosa na fonte, pode-se utilizar o modelo de *concentração medida*, como apresentado a seguir.

- *Modelo de Concentração Medida:* quando a opção *Conc. Medida* estiver habilitada, ao invés de utilizar a Lei de Raoult, o SCBR atribuirá o valor informado nesta janela para a concentração aquosa na região do aquífero em contato com a fonte (Figura 2.66). Esta opção é indicada para simulações onde existam informações da concentração na interface fonte/aquífero.

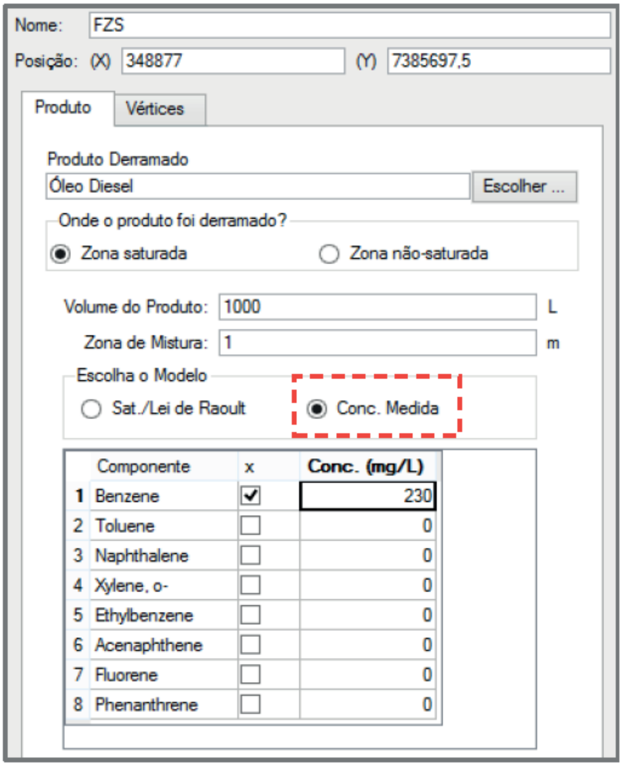


Figura 2.66 Inserção das informações das concentrações das substâncias na Zona Saturada.

Na aba *Vértices* é possível acessar/editar todas as coordendas dos vértices que compõe a fonte de contaminação delimitada pelo usuário (Figura 2.67). Esta aba está disponível em vários elementos e ferramentas do SCBR.

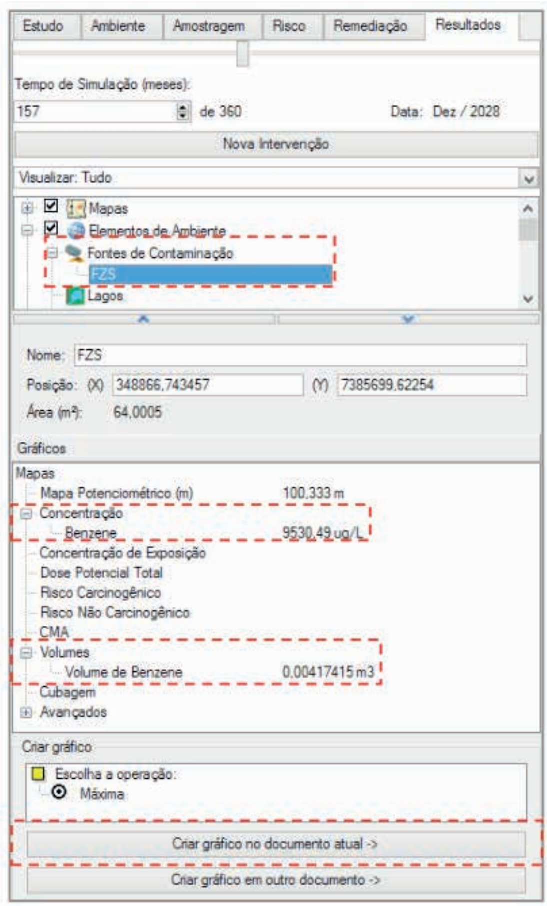


Figura 2.67 Aba Vértices da fonte de contaminação.

Ainda na zona saturada, o SCBR elabora gráficos de Concentração *versus* Tempo, semelhante à geração dessa curva em Pontos de Análise. Após simular a pluma de contaminantes, o usuário deve clicar no módulo *Resultados*, *Elementos do Ambiente, Fontes de Contaminação*. No Painel de Edição, o usuário deve clicar em *Concentração*, escolher a substância que deseja criar o gráfico, em seguida clicar no botão *"Criar gráfico no documento atual"* e por fim, *"Nova Janela"*.

No Painel de Edição ainda é possível visualizar o volume total da substância derramada (Figura 2.68 e Figura 2.69), bem como a sua variação ao longo do tempo, no caso do Benzeno.

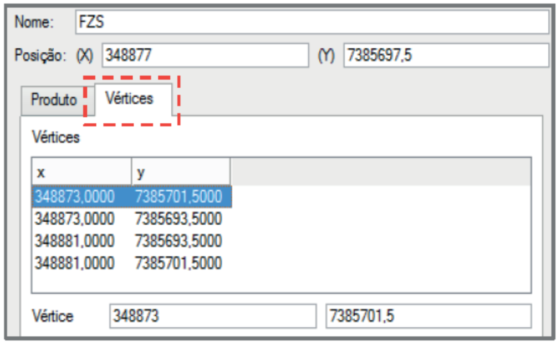


Figura 2.68 Concepção do Gráfico de Concentração *versus* Tempo da Pluma de contaminantes.

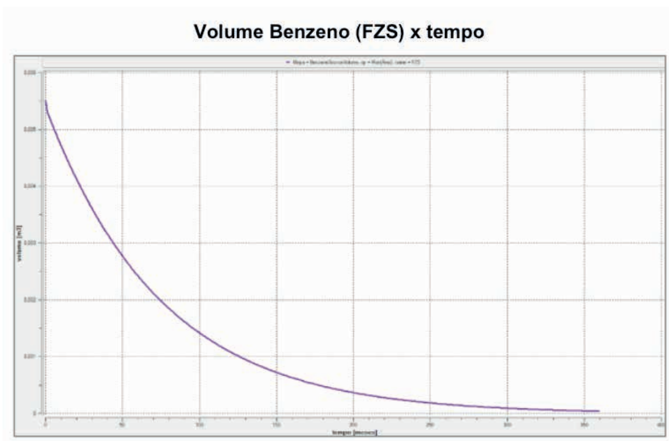


Figura 2.69 Gráfico de Concentração *versus* Tempo da Pluma de contaminantes.

<u>Fonte na Zona Não Saturada:</u> a segunda abordagem considera a fonte na zona não saturada do solo. Neste caso, o SCBR simulará os fenômenos de volatilização de vapores (acima da fonte) e de lixiviação do percolado da fonte para o aquífero. Então, a partir da concentração que chega ao aquífero, o SCBR simulará a migração da pluma de contaminantes (Figura 2.70). A volatilização e a lixiviação são os fenômenos responsáveis pelo intemperismo da fonte. Como resultados, o SCBR mostrará gráficos da concentração do contaminante no ar (devido à volatilização) ao longo do tempo, e da concentração do contaminante *versus* profundidade ao longo do tempo, além de informar qual concentração e tempo que o contaminante atinge o lençol freático. O modelo da zona não saturada é analítico e unidimensional e simula o transporte de contaminantes na fase dissolvida em direção ao lençol freático e os contaminantes da fase de vapor em direção ao topo do solo. O modelo não simula o movimento de líquidos de fase não aquosa (NAPLs - *Non-Aqueous Phase Liquid*). A zona vadosa é considerada homogênea e uniforme abaixo da fonte (uma lente pode ser modelada acima da fonte). A condutividade hidráulica é calculada como função do teor de

umidade, assumido como constante para toda a profundidade da coluna do solo. As flutuações do lençol não são consideradas e a profundidade do aquífero é considerada fixa.

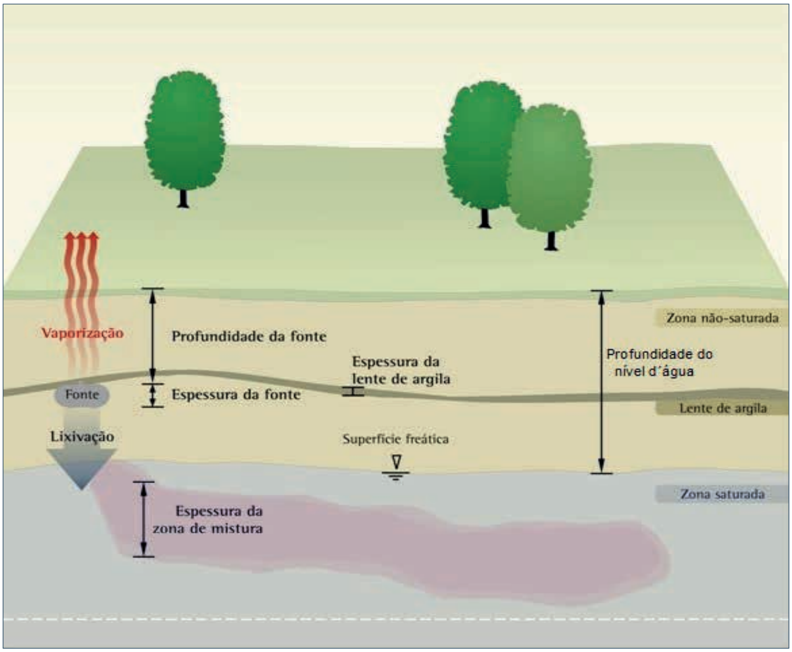


Figura 2.70 Fonte de contaminação na zona não saturada.

Para as simulações da fonte <u>na zona não saturada</u> será sempre necessário utilizar o modelo de concentração medida.

Para vazamentos onde a distância de percolação entre a fonte e o aquífero for **<u>inferior a 5 metros</u>**, recomenda-se a utilização da abordagem da **<u>zona saturada</u>**.

Aba Geral: quando a opção selecionada for *Zona Não Saturada,* será necessário informar todos os parâmetros para simular o fenômeno de volatilização e lixiviação. Os parâmetros da opção *Geral* são (Figura 2.71):

- <u>Profundidade do Nível d'água</u>: altura total (em metros) da zona não saturada (Figura 2.70), isto é, a distância entre a superfície do solo e a zona saturada (aquífero);
- <u>Número de Pontos na Curva:</u> número de pontos que serão utilizados para traçar o gráfico de concentração do contaminante x profundidade ao longo do tempo;
- <u>Profundidade da Fonte:</u> distância (em metros) entre a parte superior da fonte e a superfície do terreno. Este valor *não pode ser superior à diferença entre a profundidade do nível d'água e a espessura da fonte* (Figura 2.70);

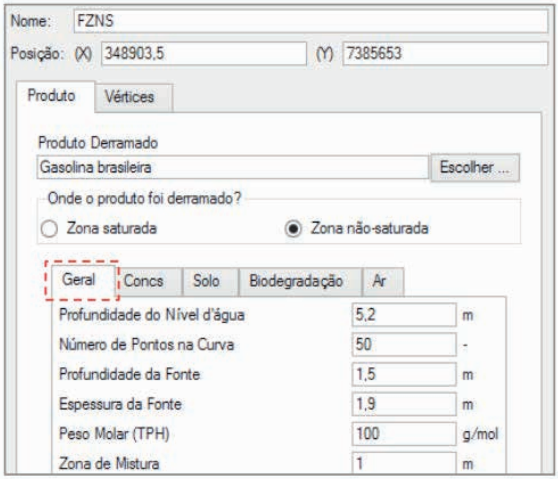


Figura 2.71 Inserção de informações da Fonte de Contaminação na Zona Não Saturada.

- Espessura da Fonte: espessura da fonte em metros. Este valor *não pode ser inferior a zero ou superior à diferença entre a profundidade do nível d'água e a zona de mistura* (Figura 2.70);
- Peso Molar (TPH): peso molecular (g/mol) do produto. O Peso Molecular de cada composto pode ser consultado na Base de Dados;
- Zona de Mistura: representa a espessura vertical da pluma de contaminação na zona saturada. Esse dado é necessário para posterior simulação da pluma dissolvida na zona saturada.

Aba Concentração (Concs): em caso de simulação de determinado produto (álcool, diesel, gasolina brasileira, gasolina pura etc.) deve-se informar inicialmente a concentração do produto (mg/kg) no solo (Figura 2.72). Em seguida, informa-se a concentração medida dos respectivos componentes. Caso o produto derramado seja uma substância química (benzeno, tolueno, xilenos etc.) informa-se apenas a sua concentração medida.

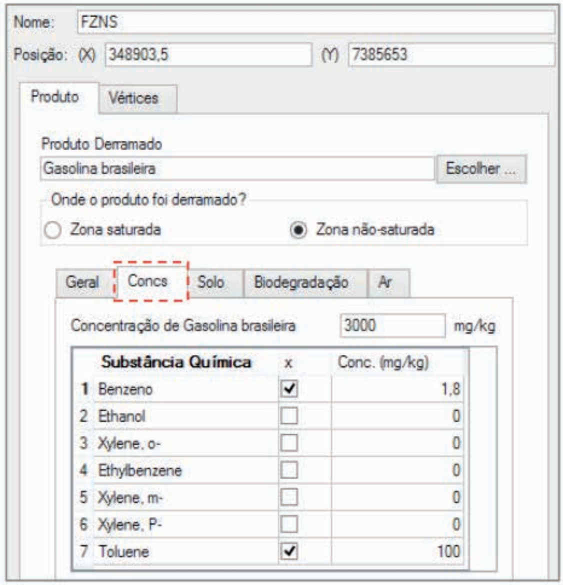
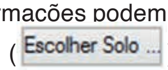


Figura 2.72 Aba Concentração da Contaminação na Zona Não Saturada.

Aba Solo: após informar os parâmetros gerais é necessário adicionar os parâmetros referentes à hidrogeologia (Figura 2.73). Estas informações podem ser inseridas a partir do Banco de Dados do SCBR, clicando sobre o botão (

), ou através de valores medidos da área.

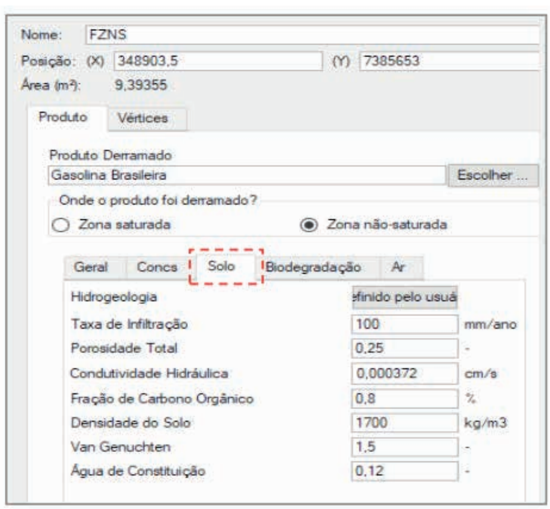


Figura 2.73 Aba Solo na Zona Não Saturada.

- <u>Taxa de infiltração (mm/ano)</u>: refere-se somente à infiltração na zona não saturada, a qual é utilizada para cálculo da velocidade intersticial do contaminante

no solo. Este valor pode ser estimado em função da pluviosidade e tipo de solo. Cabe destacar que a Taxa de Infiltração se difere da *Recarga,* inserida em Propriedades Gerais, em que é válida apenas para a zona saturada;

- Porosidade Total (adimensional): refere-se à porosidade total do solo na zona não saturada. Este valor deverá ser maior que zero e menor que 1;
- Condutividade Hidráulica (cm/s)*:* condutividade hidráulica do solo na zona não saturada (cm/s);
- Fração de Carbono Orgânico (%): fração de carbono orgânico do solo na zona não saturada;
- Densidade do Solo (kg/m³): densidade do solo na zona não saturada;
- Van Genuchten (adimensional): parâmetro de Van Genuchten "*n*". Seu valor varia entre 1 e 3 (valores de referência podem ser encontrados no Banco de Dados Hidrogeológicos do SCBR);
- Água de Constituição (adimensional): quantidade da porosidade total atribuída à água de constituição do solo. Este valor pode variar entre zero e o valor da porosidade total.

Aba Biodegradação**:** na opção *Biodegradação* podem ser configurados os valores da biodegradação, informando-se os valores da meia-vida (ano) ou do coeficiente de decaimento (1/ano) para cada contaminante (Figura 2.74).

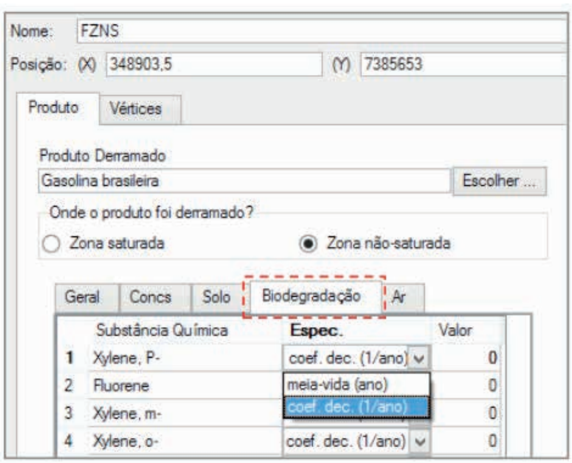


Figura 2.74 Aba Biodegradação na Zona Não Saturada.

Aba Ar: na opção *Ar* configuram-se os parâmetros referentes ao fenômeno de volatilização (Figura 2.75). Quando a opção "*Usar lentes na simulação do ar?"* estiver selecionada, o SCBR considerará que existe (acima da fonte de contaminação) um extrato (lente) de solo diferente do solo da zona não saturada (Figura 2.70). Será então necessário informar as características hidrogeológicas (*porosidade total, condutividade hidráulica,*

parâmetro de Van Genuchten e água de constituição), a espessura da lente no solo, a velocidade dor ar e a altura da caixa, sendo estes três últimos referentes ao modelo *Box Model*. Para o cálculo da concentração de contaminante no ar, supõe-se que o receptor (com altura igual à altura da caixa) está dentro de uma caixa acima da fonte de contaminação e que a concentração do contaminante é diluído.

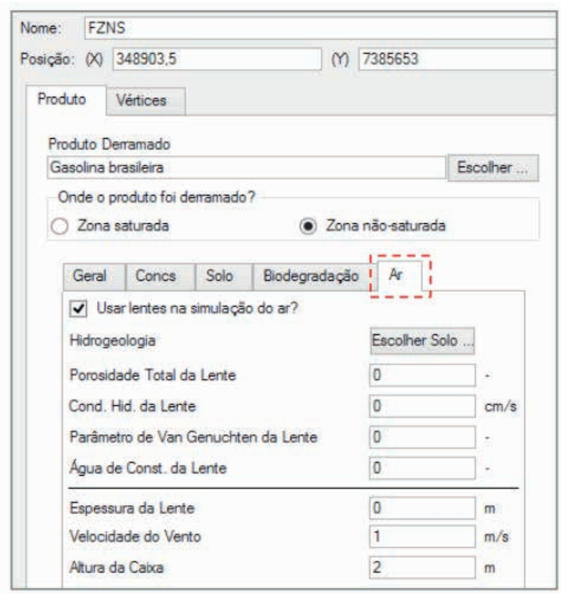


Figura 2.75 Aba Biodegradação na Zona Não Saturada.

Para criar uma Fonte de Contaminação (Zona Saturada ou Não Saturada) pode-se utilizar o elemento correspondente presente na barra de elementos ( ) e delimitar a fonte no domínio de simulação através do mouse, ou ainda utilizar a opção ***"Editar Fontes de Contaminação"*** e editar o nome e os vértices.

Rios: o elemento *Rio* representa o leito de um rio. Este elemento é importante tanto para a simulação do mapa potenciométrico, servindo como uma condição de contorno, quanto para o transporte de contaminantes, servindo como um sumidouro para os contaminantes presentes na água subterrânea (Figura 2.76).

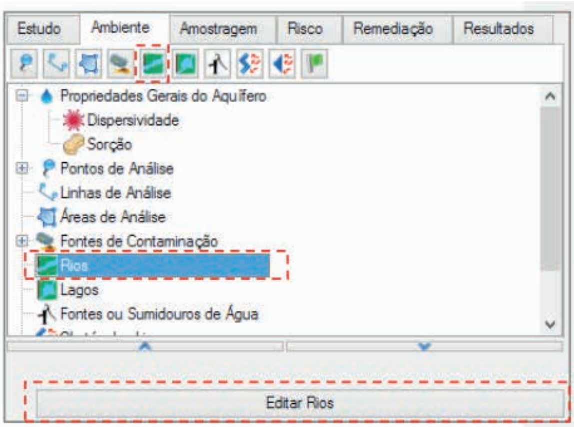


Figura 2.76 Inserção de Rios.

Vazão (m³/s): este parâmetro será utilizado para calcular a concentração no rio, considerando a massa de contaminante que chega no corpo hídrico (Figura 2.77).

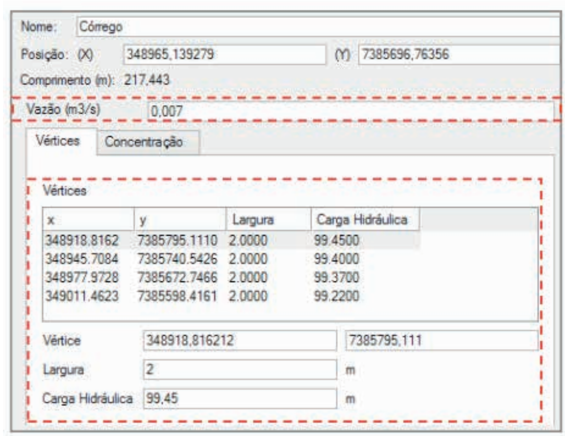


Figura 2.77 Inserção das informações dos Rios.

- Vértice: coordenadas de cada vértice do elemento rio;
- Largura: largura do leito do rio, no vértice escolhido;
- Carga Hidráulica: cota do nível d'água no vértice. Este valor servirá como condição de contorno para a simulação do mapa potenciométrico. Ao criar-se um rio, é necessário informar a carga hidráulica em todos os vértices, pois, caso contrário, o resultado do mapa potenciométrico pode apresentar distorções.

Na aba *Concentração* é possível definir uma concentração de contaminante no rio para o tempo inicial de simulação (tempo igual a zero), como mostrado na Figura 2.78 (para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

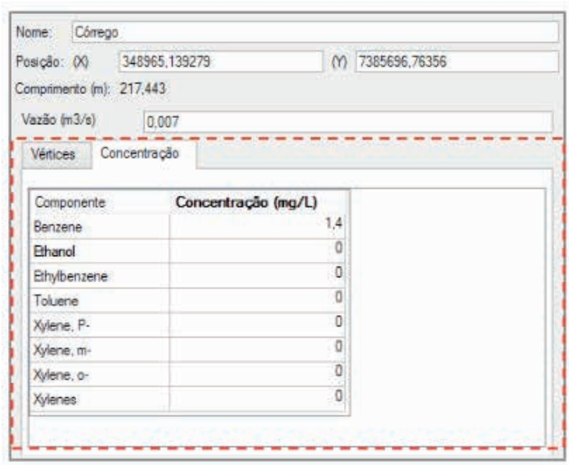


Figura 2.78 Aba Concentração nos Rios.

Na atual versão do SCBR (versão 3.25), a criação do rio no domínio de simulação pode ser realizada utilizando o seu elemento ( ) na **Barra de Elementos** ou através da opção "*Editar Rios*". Para desenhar o rio (opção Barra de Elementos) é necessário somente um traço que represente o começo e o fim do rio, iniciando com o botão esquerdo do mouse e terminando com o botão direito (Figura 2.79).



Figura 2.79 Exemplificação do elemento rio no dominínio de simulação.

Lagos: o elemento *Lago* representa o corpo d'água lacustre, que poderia ser um lago, uma lagoa, uma região pantanosa, uma laguna, o mar etc. Similarmente ao *Rio,* este elemento é importante tanto para a definição do mapa potenciométrico, servindo como uma condição de contorno, quanto para o transporte de contaminantes, servindo como um sumidouro para os contaminantes presentes na água subterrânea. Ao criar um elemento do tipo *Lago,* através do seu ícone representativo ***,*** cada clique do botão esquerdo do

mouse cria um ***vértice*** do lago. Ao clicar com o botão direito do mouse, encerra-se a criação do elemento. Assim como o rio, o lago pode ser criado pela opção *“Editar Lagos”* (Figura 2.80).

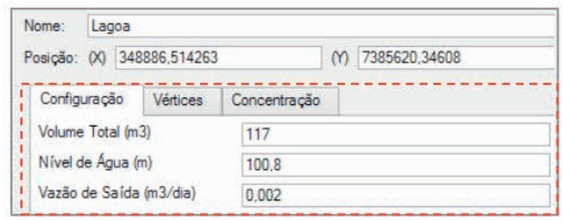


Figura 2.80 Inserção das informações dos Lagos.

- Volume Total (m³): este parâmetro será utilizado para calcular a concentração no lago, considerando a massa de contaminante que chega no corpo hídrico;
- Nível d’água (m): cota do nível d’água do lago. Este valor serve como condição de contorno para a simulação do mapa potenciométrico;
- Vazão de Saída (m³/dia): vazão média de saída d’água do lago. Este parâmetro é utilizado para o balanço de fluxo do corpo hídrico.

Na aba ***Vértices*** ficam registradas as coordenadas de cada vértice do elemento. Assim como no *Rio*, a aba ***Concentração*** pode-se inserir uma concentração de contaminante no lago para o tempo inicial de simulação (tempo igual a zero), como mostrado na figura abaixo (para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas) (Figura 2.81).

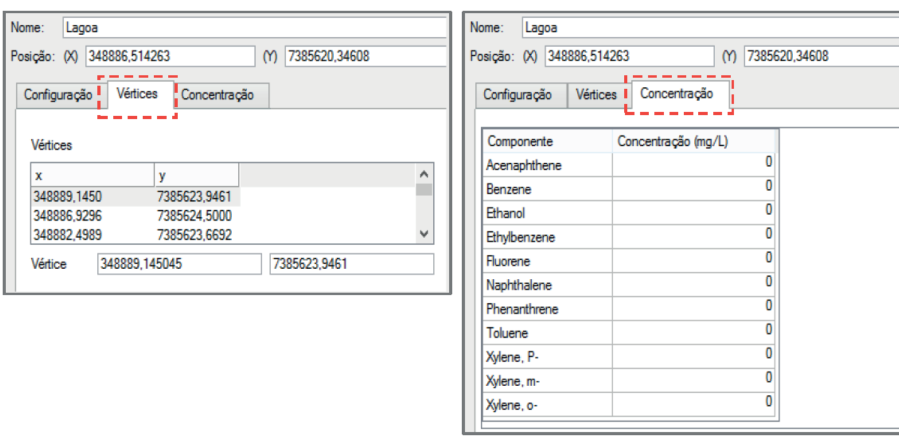


Figura 2.81 Abas vértices e concentração das substâncias no Lago.

Fontes ou Sumidouros de Água ( ): este elemento representa a presença de uma fonte (poço de captação) ou sumidouro no cenário de estudo (Figura 2.82).

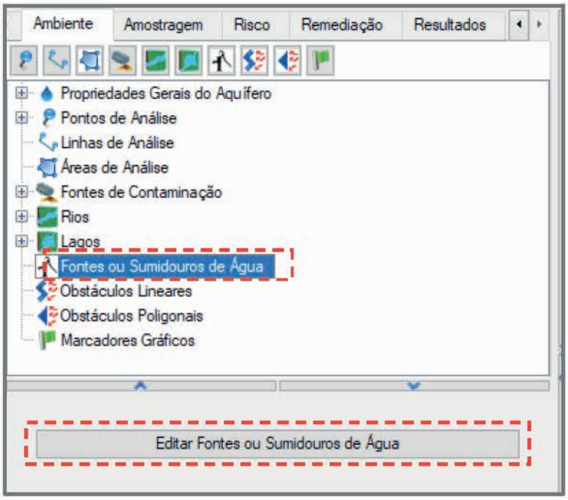


Figura 2.82 Opção Fontes ou Sumidouros de Água.

- *Caixa de Seleção "Ativo":* quando esta caixa estiver checada (Figura 2.83), este elemento será considerado na simulação do mapa potenciométrico. Quando não selecionada, estará inativo e não será considerado na simulação do fluxo subterrâneo.

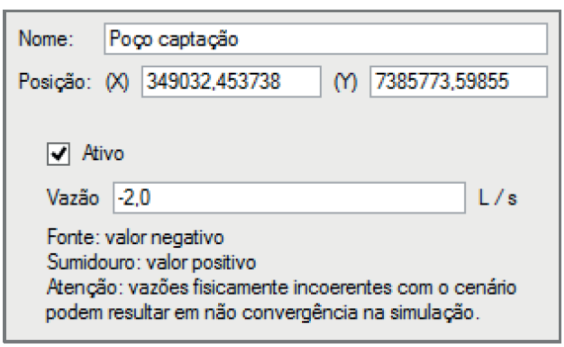


Figura 2.83 Consideração de Fontes ou Sumidouros de Água.

- *Vazão (L/s):* vazão média do elemento.

IMPORTANTE: vazão com valor negativo significa retirada de água (fonte), e com valor positivo significa entrada de água (sumidouro).

Para inserir uma fonte/sumidouro de água, pode-se utilizar do seu elemento correspondente ( ) na *Barra de Elementos* ou através da opção *"Editar Fontes ou Sumidouros de Água".*

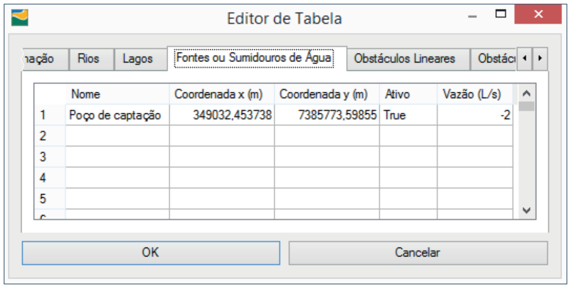


Figura 2.84 Inserção de Fontes ou Sumidouros.

Obstáculo Linear e Obstáculo Poligonal: representam regiões onde o fluxo é nulo. São locais onde existem rochas, tubulações subterrâneas, por exemplo (Figura 2.85). A alteração do fluxo no aquífero, por meio de obstáculos, pode impedir que áreas de risco sejam atingidas.

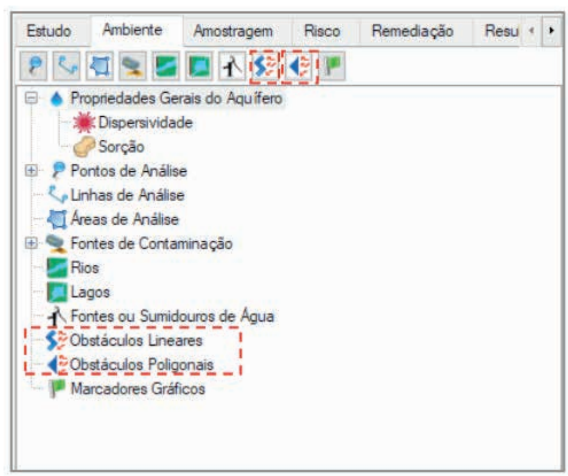


Figura 2.85 Opção Obstáculo Linear e Obstáculo Poligonal.

- *Vértices*: coordenadas dos vértices.

A criação de um obstáculo linear ou poligonal pode ser feita através do seu elemento correspondente na *Barra de Elementos*: barreira linear ( ) e barreira poligonal ( ) ou através da opção *"Editar Obstáculo Linear"* ou *"Editar Obstáculo Poligonal".* A janela da Figura 2.86 fica disponível quando usamos o elemento do obstáculo linear ou poligonal na Barra de Elementos.

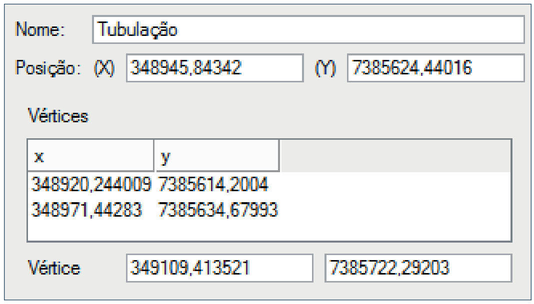


Figura 2.86 Inserção de informações de Obstáculo Linear e/ou Obstáculo Poligonal.

<u>Marcadores Gráficos</u>**:** são ferramentas que têm a finalidade de indicar uma região de interesse no mapa. Podem ser utilizados, por exemplo, para indicar onde existe uma escola ou um hospital. O painel de edição dos marcadores gráficos é similar ao das barreiras, mostrado anteriormente (Figura 2.87).

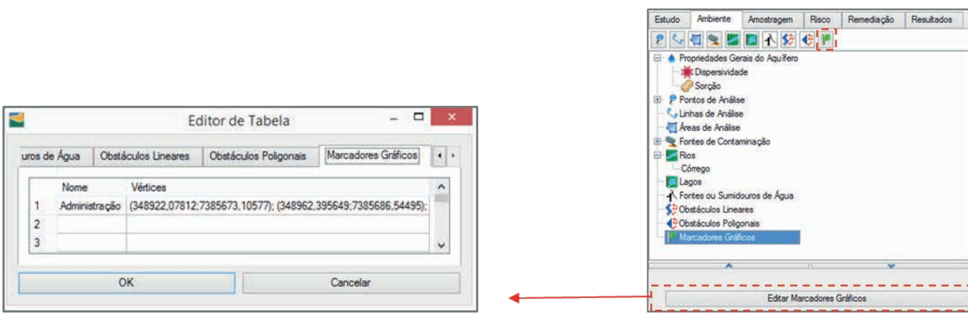


Figura 2.87 Opção Marcadores Gráficos

- *<u>Vértices</u>*: coordenadas dos vértices do marcador gráficos (Figura 2.88).

Para inserir um marcador gráfico, pode-se utilizar do seu correspondente  na *Barra de Elementos* ou através da opção *"Editar Marcadores Gráficos"***.**

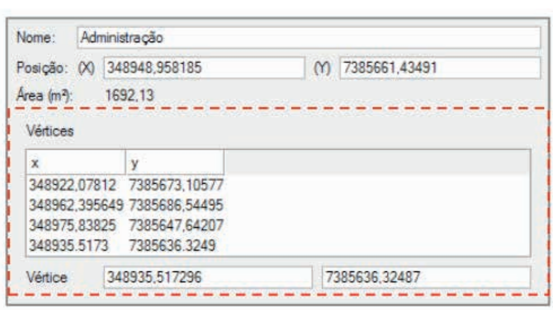


Figura 2.88 Vértices dos Marcadores Gráficos.

2.2.3. Módulo Amostragem

O módulo ***Amostragem*** (Figura 2.89) tem como objetivo assegurar a obtenção de informações confiáveis a respeito da existência, concentração e distribuição na área investigada de determinadas substâncias, de acordo com o objetivo da fase de investigação para a qual foi desenvolvida.

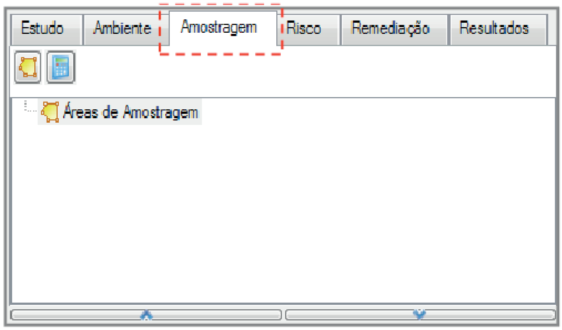


Figura 2.89 Módulo Amostragem.

***Barra de Elementos (Amostragem)*:** os elementos do módulo *Amostragem*, apresentados abaixo, estão agrupados na *Barra de Elementos* (Figura 2.90).

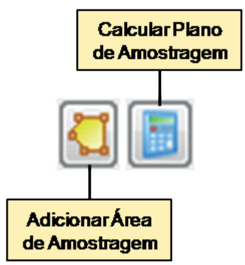


Figura 2.90 Itens da Barra de Elementos no Módulo Amostragem.

O esquema de distribuição de pontos de amostragem pode ser feito tanto para o solo (Figura 2.91) como para água subterrânea (Figura 2.92).

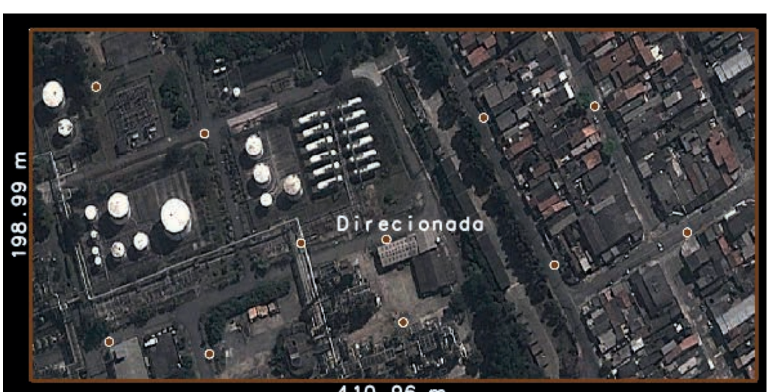


Figura 2.91 Amostragem no meio - solo.



Figura 2.92 Amostragem no meio - água subterrânea.

O painel de edição do módulo Amostragem é composto pelas abas ***Configuração*** e ***Vértices.***

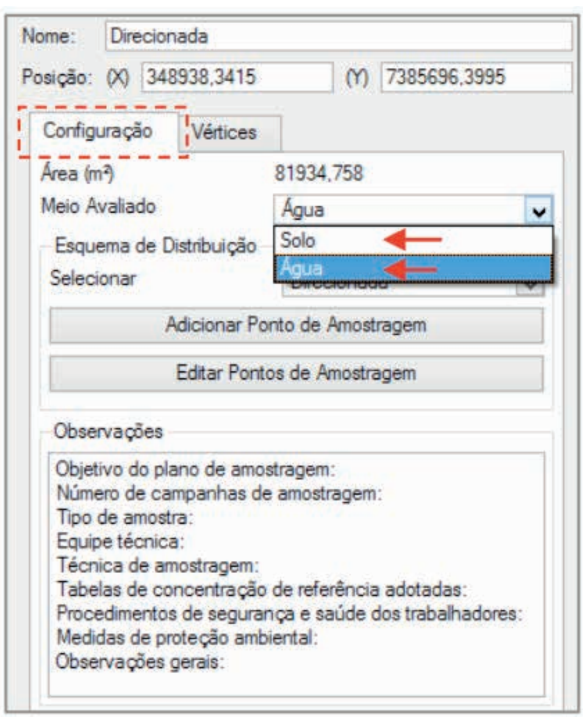


Figura 2.93 Aba Configuração do módulo Amostragem.

- **Configuração:** permite o usuário visualizar e ter acesso às principais configurações da área: Área (m²), Meio Avaliado, Esquema de Distribuição e *Observações* (Figura 2.93).

- Área (m²): área total da área de amostragem desenhada;
- Meio Avaliado: meio no qual o usuário deseja obter os pontos de amostragem: *Solo* ou *Água Subterrânea*;
- Esquema de Distribuição: contém os tipos de esquemas de distribuições: *Amostragem Direcionada, Aleatória Simples, Aleatória Estratificada e Sistemática* (para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas);
- Observações: observações referentes à Amostragem.

- **Vértices:** coordenadas dos vértices da área de amostragem (Figura 2.94).

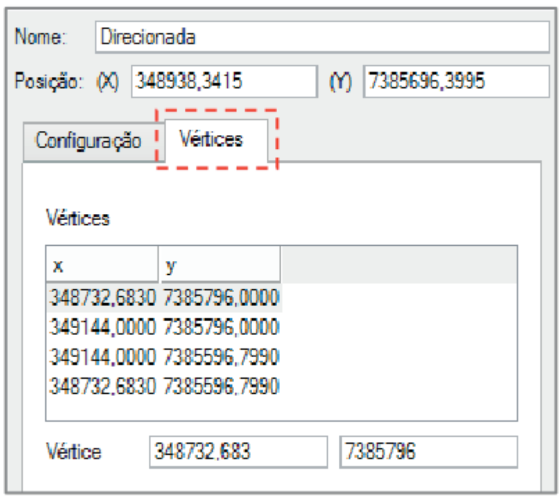


Figura 2.94 Aba Vértices do módulo Amostragem.

Para delimitar uma área de amostragem, deve-se clicar sobre o botão () *"Adicionar Área de Amostragem"* para habilitar essa função, e depois desenhar a área de interesse no domínio de simulação.

Amostragem Direcionada: neste esquema de distribuição é o usuário que define a posição dos pontos de amostragem dentro da área delimitada. Após delimitar a área de amostragem, o usuário deve clicar em *"Adicionar Ponto de Amostragem"* e em seguida posicionar os pontos no local desejado (Figura 2.95).

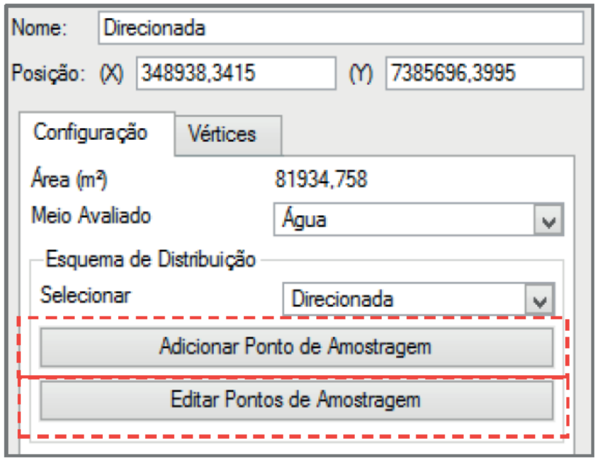


Figura 2.95 Amostragem Direcionada.

Através da opção "***Editar Pontos de Amostragem***" o usuário pode adicionar/ alterar a posição do ponto, colocar a profundidade em relação ao nível do terreno e editar o composto químico, conforme ilustra a figura abaixo (Figura 2.96). Este recurso está disponível em todos os tipos de esquemas de distribuição.

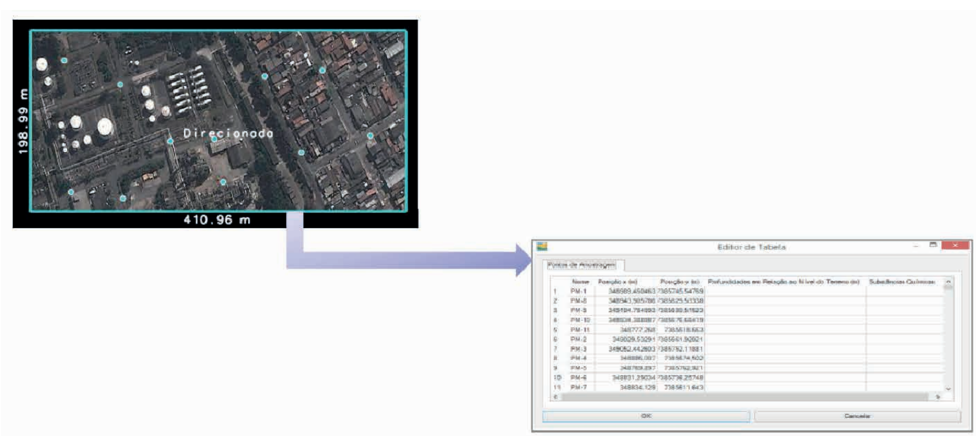


Figura 2.96 Alteração do ponto de amostragem.

<u>Amostragem Aleatória Simples</u>: neste esquema de distribuição o usuário define o número de pontos de amostragem que deseja ter (Figura 2.97). Após definir o número de pontos de amostragem, o usuário deve clicar no ícone ***"Calcular Plano de Amostragem"*** () para que o SCBR crie tais pontos de forma aleatória.

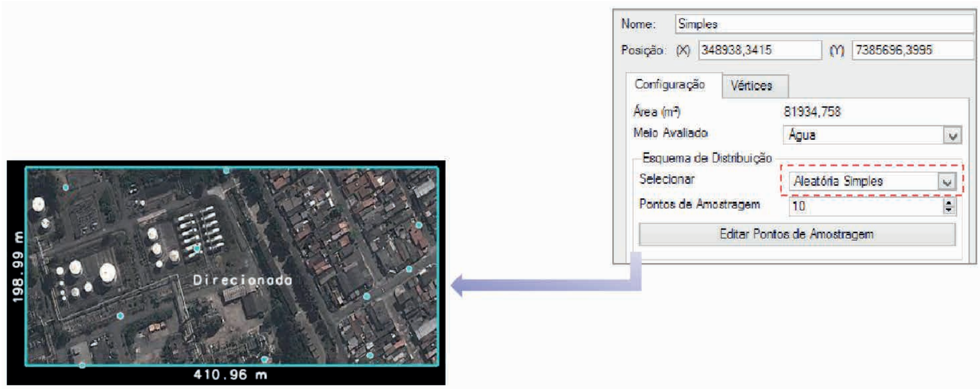


Figura 2.97 Amostragem Aleatória Simples.

<u>Amostragem Aleatória Estratificada</u>: neste esquema <u>o usuário também define o número de pontos</u> de amostragem que deseja ter (Figura 2.98). Ainda é possível configurar as opções:

- <u>Mostrar (Malha)</u>: quando checado, exibe a malha da área de amostragem;
- <u>Espaçamento de Malha (m)</u>: o usuário pode colocar o espaçamento desejado da malha, e o SCBR calcula o número de células proporcionais a esta;
- <u>Quantidade de Células</u>: se o usuário optar por não colocar o espaçamento da malha, ele pode definir o número de células que irão compor a área.

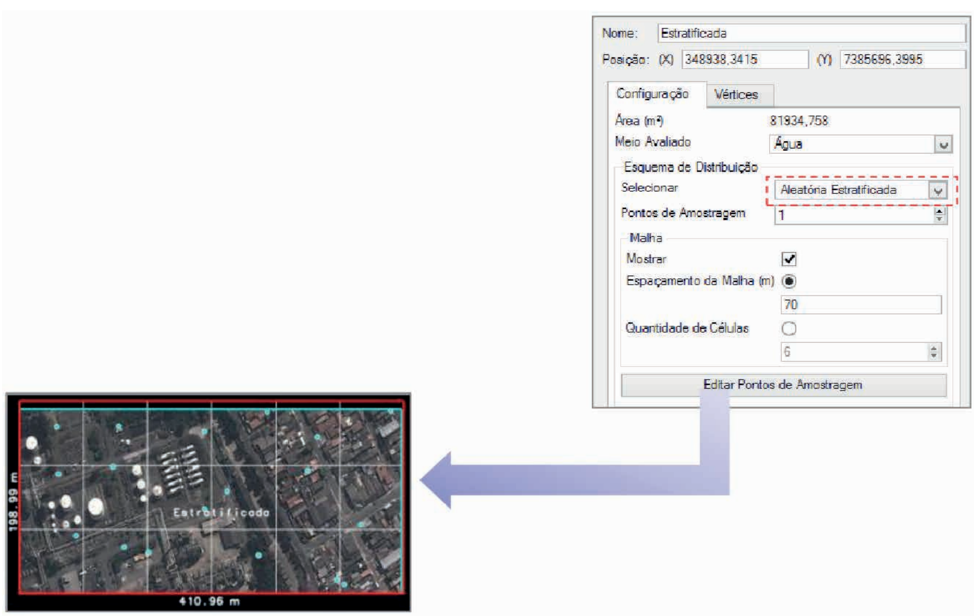


Figura 2.98 Amostragem Aleatória Estratificada.

Amostragem Sistemática: neste esquema os pontos amostrados são calculados em função do espaçamento da malha, ou na probabilidade de detectar focos esféricos ou elípticos do foco de contaminação (*hot spots*) (Figura 2.99 e Figura 2.100):

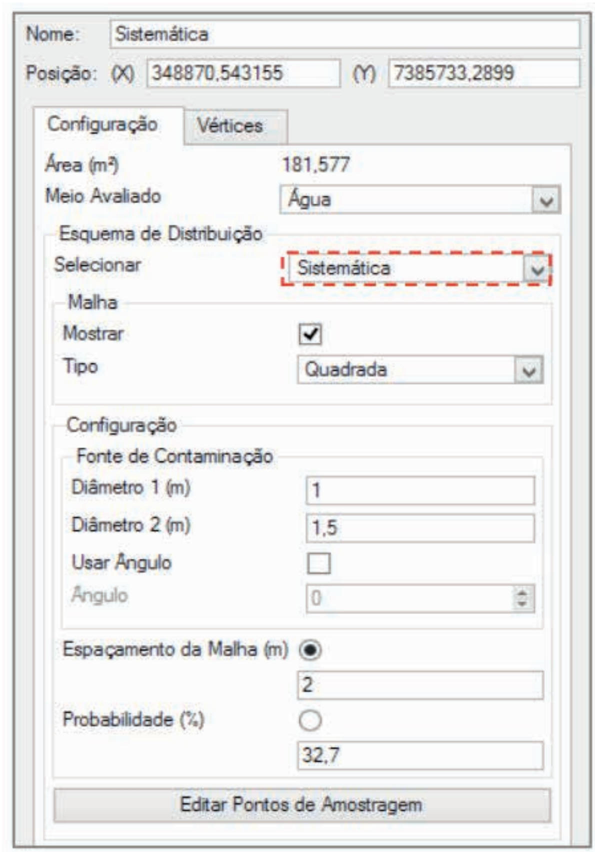


Figura 2.99 Amostragem Sistemática.

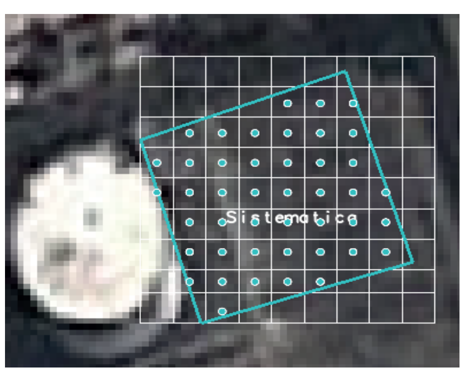


Figura 2.100 Tipo de Malha da Amostragem.

- Mostrar (Malha): quando checado, exibe a malha da área de amostragem;
- Tipo de Malha: é possível escolher a malha do tipo *Quadrada* ou *Triangular*;
- Diâmetro 1 (m): corresponde ao menor diâmetro da fonte de contaminação (*hot spot*);
- Diâmetro 2 (m): corresponde ao maior diâmetro da fonte de contaminação (*hot spot*);
- Usar Ângulo: ângulo do maior diâmetro da fonte de contaminação;
- Espaçamento da Malha (m): o usuário pode colocar o espaçamento da malha desejado, e o SCBR calcula o número de células proporcionais a esta;
- Probabilidade (%): probabilidade de X% de encontrar um *hot spot* na área.

2.2.4. Módulo Risco

O módulo ***Risco*** (Figura 2.101) é destinado ao cálculo e geração de mapas de risco à saúde humana, e às Concentrações Máximas Aceitáveis (CMA). Neste módulo são fornecidas ao SCBR, através do objeto ***Uso do Solo***, as informações referentes à norma adotada, aos receptores, contaminantes nos meios e às vias de ingresso. Como resultado, o SCBR calcula e gera mapas de riscos carcinogênico e não carcinogênico, e mapas de *CMA Crítica* e de relação *Concentração / CMA Crítica*, visualizados no módulo ***Resultados***.

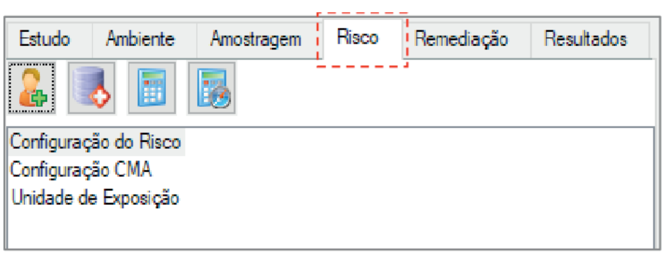


Figura 2.101 Módulo Risco.

As opções do menu de navegação são ***Configuração do Risco***, ***Configuração CMA*** e ***Unidades de Exposição***. O módulo *Risco* possui uma barra de ferramentas com as opções ***Criar Unidades de Exposição, Assistente da Base de Dados do Risco, Cálculo do Risco e Cálculo da CMA***, como mostrado na Figura 2.102.

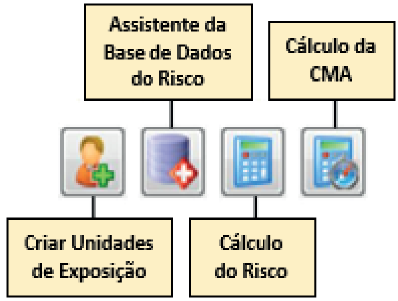


Figura 2.102 Itens da Barra de Elementos no Módulo Risco.

Configuração do Risco: esta opção permite escolher a **metodologia** utilizada para o cálculo do risco, os **meios contaminados** (solo superficial, subsuperficial e/ou água subterrânea) e as **substâncias químicas** presentes nestes meios (Figura 2.103).

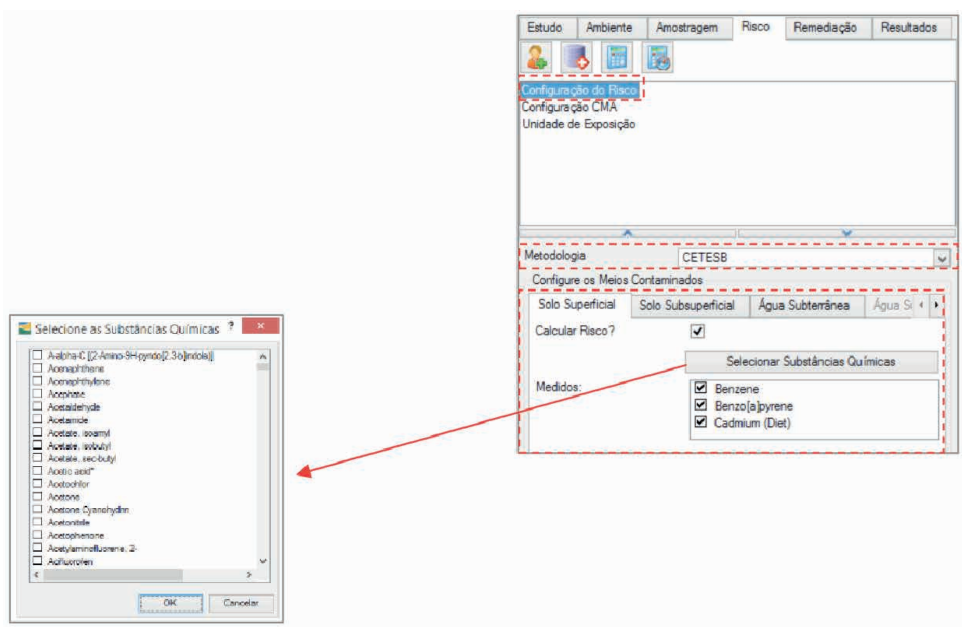


Figura 2.103 Opção Configuração do Risco.

Para o cálculo do risco (carcinogênico e não carcinogênico) no **solo superficial e subsuperficial**, o SCBR utiliza somente valores medidos de concentração das substâncias químicas de interesse (SQI) presentes nestes meios (Figura 2.104).

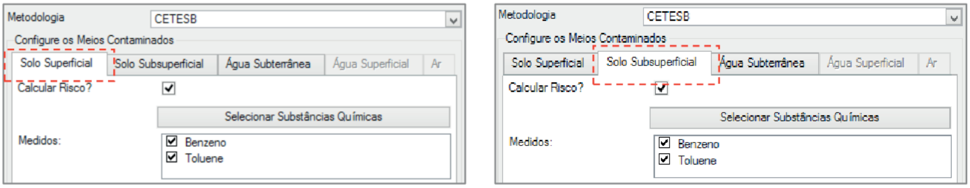


Figura 2.104 Substâncias Químicas de Interesse no Solo Superficial e no Solo Subsuperficial.

Na **água subterrânea** pode ser utilizada tanto as <u>concentrações medidas</u> quanto as <u>simuladas</u> (Figura 2.105). Quando utilizados valores provenientes da simulação, o SCBR (versão 3.25) irá utilizar a concentração, para cada volume de controle da malha do domínio de simulação, de acordo com o método selecionado pelo usuário: *Máxima, UCL 95, UCL 99* ou *Variável* (para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

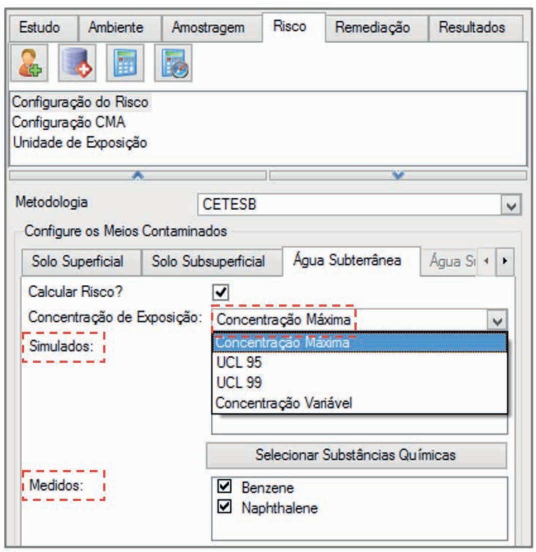


Figura 2.105 Substâncias Químicas de Interesse na Água Subterrânea.

Para o SCBR calcular o risco é necessário que a opção *"Calcular Risco?"* esteja habilitada.

<u>Configuração CMA</u>**:** esta opção permite escolher a **metodologia** para o cálculo das concentrações máximas aceitáveis (CMA), os valores de **risco alvo** carcinogênico e não carcinogênico, os **meios** impactados (solo superficial, subsuperficial e água subterrânea) e as **substâncias químicas** de interesse presentes nestes meios, as quais se deseja obter as metas de remediação (Figura 2.106).

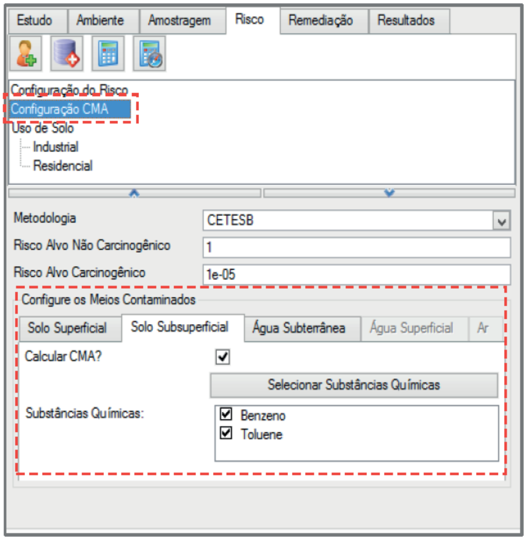


Figura 2.106 Opção Configuração da CMA.

__Unidades de Exposição__: nesta opção serão definidos: o *Nome,* o tipo de *Unidade de Exposição,* os *Receptores* presentes, as *Rotas de Ingresso* em cada *Meio Contaminado,* as *Medições (concentrações medidas)* e as *Variáveis Gerais* para o cenário associado à intrusão de vapores e partículas.

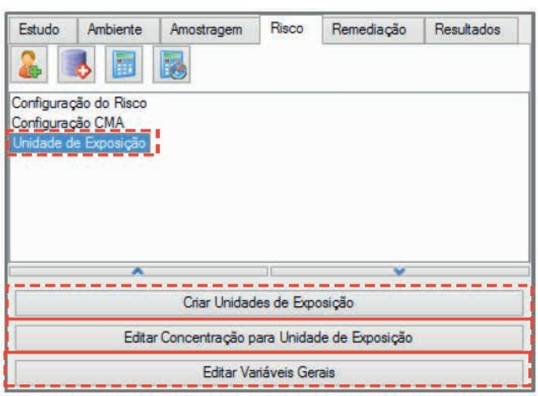
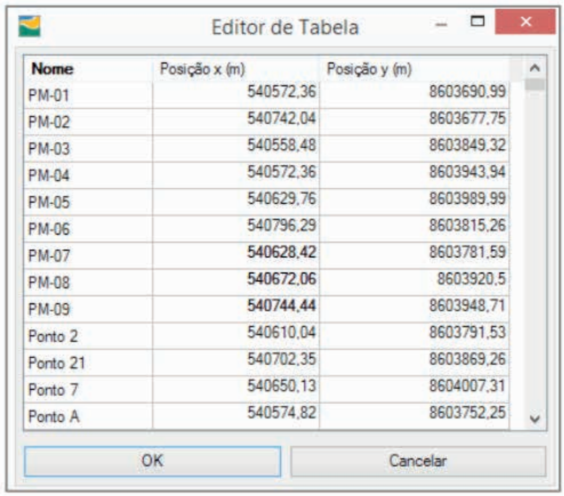


Figura 2.107 Opção Unidades de Exposição.

A delimitação de uma ***Unidade de Exposição*** é realizada através do botão *Criar Unidade de Exposição* ( ), e definindo-se a área geográfica na qual o receptor escolhido entra em contato com o meio contaminado durante todo o período de exposição, ou no caso de várias Unidades de Exposição, pode ser utilizado o botão *Criar Unidades de Exposição* (Figura 2.107). Nesta segunda opção, o usuário deve inserir o nome das áreas e suas coordenadas centrais (X e Y) (Figura 2.108), e o modelo definirá a distribuição espacial das Unidades de Exposição pelo método de polígonos de Thiessen (Diagrama de Voronoi).



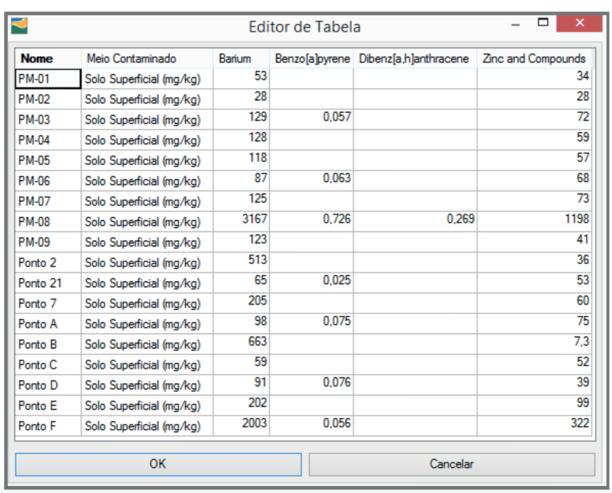
Editor de Tabela

Nome	Posição x (m)	Posição y (m)
PM-01	540572,36	8603690,99
PM-02	540742,04	8603677,75
PM-03	540558,48	8603849,32
PM-04	540572,36	8603943,94
PM-05	540629,76	8603989,99
PM-06	540796,29	8603815,26
PM-07	540628,42	8603781,59
PM-08	540672,06	8603920,5
PM-09	540744,44	8603948,71
Ponto 2	540610,04	8603791,53
Ponto 21	540702,35	8603869,26
Ponto 7	540650,13	8604007,31
Ponto A	540574,82	8603752,25

OK Cancelar

Figura 2.108 Inserção da Unidade de Exposição.

A inserção das concentrações medidas dos contaminantes pode ser feita de duas maneiras: i) acessando cada Unidade de Exposição e digitando o valor da concentração da SQI ou, ii) pelo botão *Editar Concentração para Unidade de Exposição*, para preenchimento na tabela com identificação dos nomes, meios e compostos químicos configurados em etapas anteriores (Figura 2.109).



Editor de Tabela

Nome	Meio Contaminado	Barium	Benzo[a]pyrene	Dibenz[a,h]anthracene	Zinc and Compounds
PM-01	Solo Superficial (mg/kg)	53			34
PM-02	Solo Superficial (mg/kg)	28			28
PM-03	Solo Superficial (mg/kg)	129	0,057		72
PM-04	Solo Superficial (mg/kg)	128			59
PM-05	Solo Superficial (mg/kg)	118			57
PM-06	Solo Superficial (mg/kg)	87	0,063		68
PM-07	Solo Superficial (mg/kg)	125			73
PM-08	Solo Superficial (mg/kg)	3167	0,726	0,269	1198
PM-09	Solo Superficial (mg/kg)	123			41
Ponto 2	Solo Superficial (mg/kg)	513			36
Ponto 21	Solo Superficial (mg/kg)	65	0,025		53
Ponto 7	Solo Superficial (mg/kg)	205			60
Ponto A	Solo Superficial (mg/kg)	98	0,075		75
Ponto B	Solo Superficial (mg/kg)	663			7,3
Ponto C	Solo Superficial (mg/kg)	59			52
Ponto D	Solo Superficial (mg/kg)	91	0,076		39
Ponto E	Solo Superficial (mg/kg)	202			99
Ponto F	Solo Superficial (mg/kg)	2003	0,056		322

OK Cancelar

Figura 2.109 Inserção das concentrações dos contaminantes.

O botão "*Importar dados (Não-Saturado)"* permite o usuário transferir ao campo *Variáveis Gerais* (módulo Risco) as informações pré definidas de uma fonte configurada na zona não saturada (módulo Ambiente), e utilizá-las para os cenários associados à inalação de vapores e partículas (Figura 2.110).

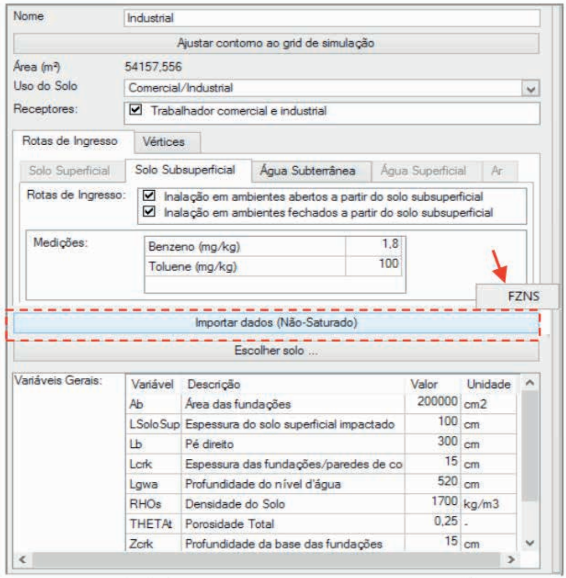


Figura 2.110 Botão Importar dados (*Não-Saturado*)

<u>Assistente da Base de Dados do Risco</u>: o SCBR permite a edição das fórmulas de cálculo de risco através do botão *Assistente da Base de Dados do Risco* () (Figura 2.111).



Figura 2.111 Botão Assistente da Base de Dados do Risco.

<u>Editor de Metodologia:</u> a primeira janela do editor permite criar (), alterar nome () ou excluir () uma metodologia de avaliação de risco à saúde humana (Figura 2.112). O botão *Próximo* leva o usuário à próxima janela, onde será editada a norma selecionada.

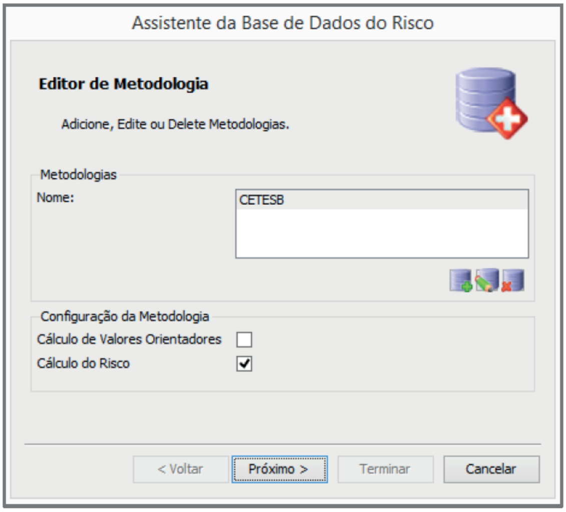


Figura 2.112 Editor de Metodologia.

- Editor de Variável Geral: nesta janela estão disponíveis para edição as variáveis gerais utilizadas na metodologia selecionada na janela anterior (Figura 2.113).

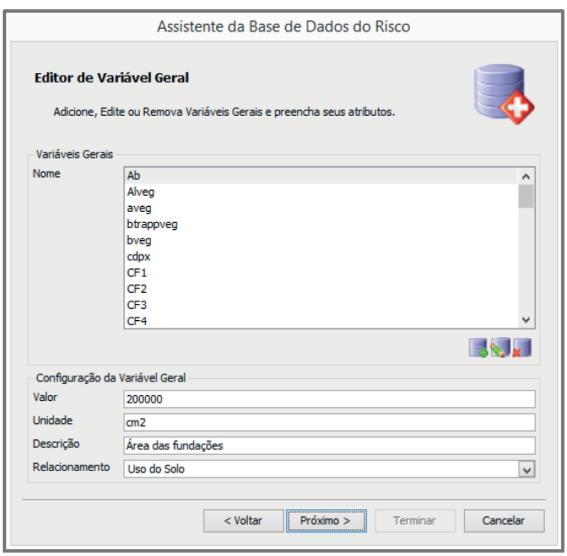


Figura 2.113 Editor de Variável de Risco.

- Editor de Fórmula Auxiliar: na janela estão disponíveis para edição as ***fórmulas auxiliares*** utilizadas na metodologia escolhida na janela inicial (Figura 2.114).

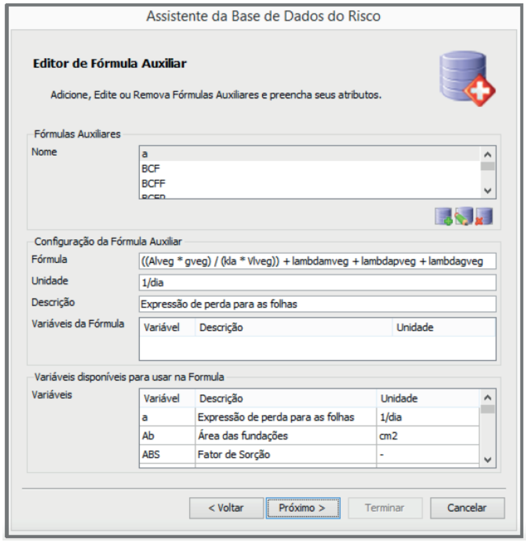


Figura 2.114 Editor de Fórmula Auxiliar

- Editor de Rotas de Ingresso: nesta janela são definidas ou editadas as ***rotas de ingresso*** (Figura 2.115). Na parte superior pode-se criar, alterar o nome ou excluir uma rota de ingresso. Na parte inferior, aba *Configurações,* é configurada a rota que foi selecionada na parte superior, como: parâmetros toxicológicos (SF – fator de carcinogenicidade e RfD – dose de referência) necessários, meio contaminado, área de interesse (fonte de contaminação ou unidade de exposição), fator de exposição (FE) e tipo de composto (orgânico e/ou metálico) associados à rota escolhida.

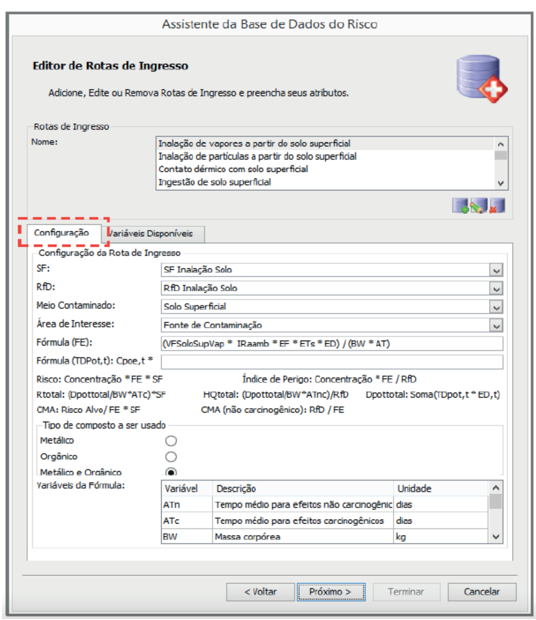


Figura 2.115 Aba Configuração do Editor de Rotas de Ingresso.

As variáveis cadastradas (Editor de Variável Geral, Editor de Rotas de Ingresso e Substâncias Químicas – Banco de Dados) e que podem ser utilizadas nas fórmulas do *fator de exposição (FE)* e *taxa de dose potencial variável (TDPot,t)* estão disponíveis na aba *Variáveis Disponíveis (Figura 2.116).*

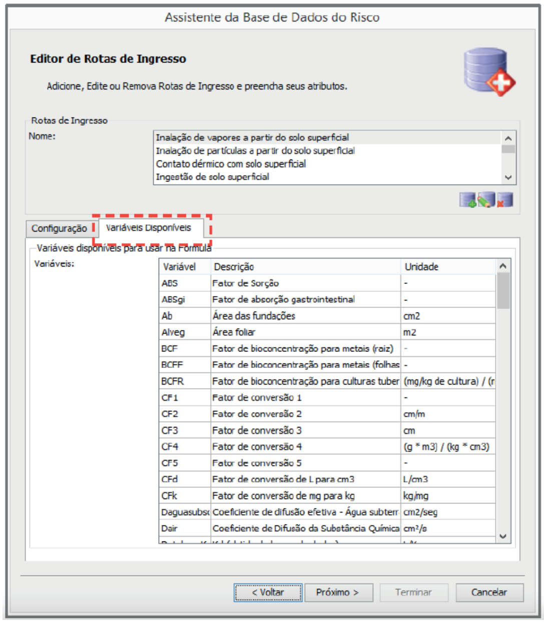


Figura 2.116 Aba Variáveis Disponíveis do Editor de Rotas de Ingresso.

- <u>Editor de Unidade de Exposição</u>: são definidos e configurados os tipos de usos do solo. Na parte superior (Unidades de Exposição), pode-se alterar o nome, criar ou excluir um tipo de uso do solo. Na parte intermediária (Configurações do Uso do Solo), definir a cor representativa no domínio de simulação, e as rotas de ingresso relacionadas à unidade de exposição selecionada na parte superior. Na parte inferior (Variáveis Gerais por Unidade de Exposição) são listadas as variáveis gerais, e seus valores, utilizadas em cada rota de ingresso (Figura 2.117).

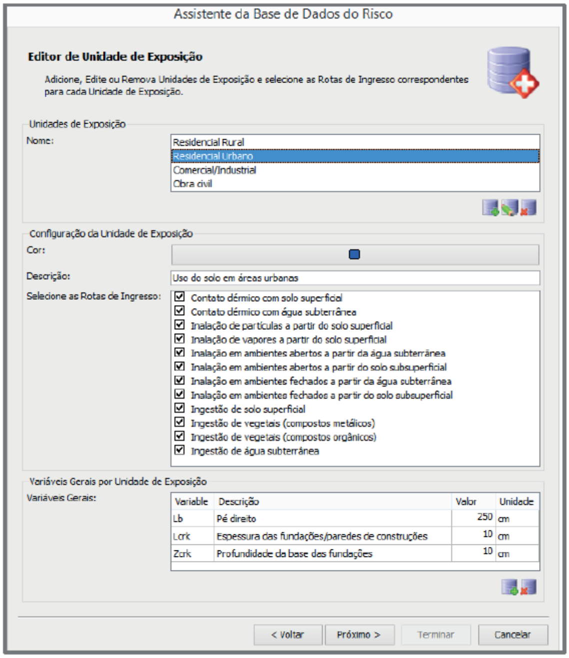


Figura 2.117 Editor da Unidade de Exposição.

- Criar Receptor: esta janela permite editar os receptores em cada *unidade de exposição* (tipo de uso de solo) da metodologia selecionada (Figura 2.118).

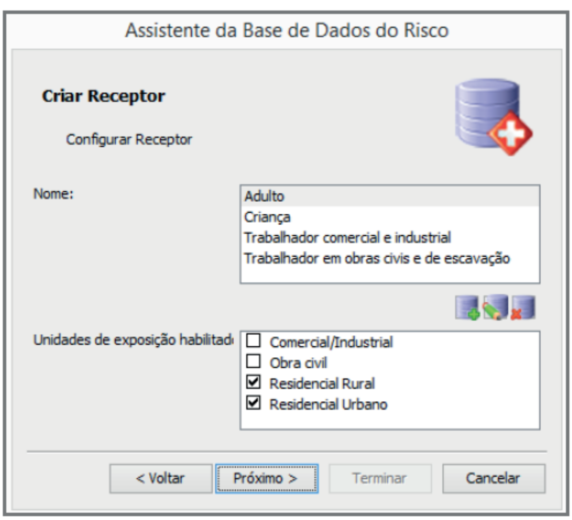


Figura 2.118 Inserção e edição de receptores.

- Editor de Caracterização do Receptor: são definidos e configurados os ***receptores***. Na parte superior (*Receptores*), permite selecionar **o tipo de receptor**.

Na parte intermediária (*Configuração do Receptor*), as **rotas de ingresso** por tipo de receptor. E na parte inferior (*Valores das Variáveis*), os **valores dos parâmetros de exposição** utilizados nos *fatores de exposição* (*FE*) e *taxas de dose potencial variável* (*TDPot,t*) para cada rota de ingresso, em função do uso de solo e do receptor. Se desejar, o usuário ainda poderá visualizar um resumo detalhado de determinada rota de ingresso no botão ***Detalhes da Fórmula*** (Figura 2.119).

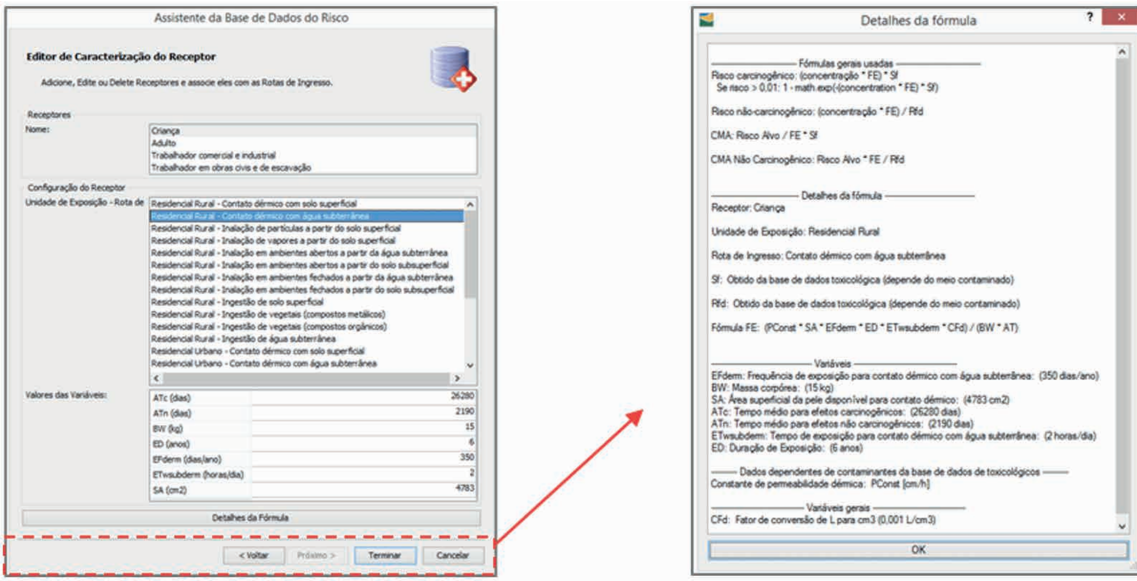


Figura 2.119 Editor de Caracterização do Receptor.

Ao clicar em ***Terminar***, o SCBR fechará o Assistente e retornará ao Módulo Risco.

O risco é calculado por meio do botão ***Calcular Risco*** ( ). Será exibida uma janela (Figura 2.120) para confirmar e/ou editar as configurações do risco, como: meios considerados, substâncias químicas em cada meio, fonte de contaminação configurada na zona não saturada (para cenários associados à inalação de vapores e partículas), e parâmetros físicos (*Características Gerais*) das unidades de exposição. Os resultados são mostrados no módulo ***Resultados.***

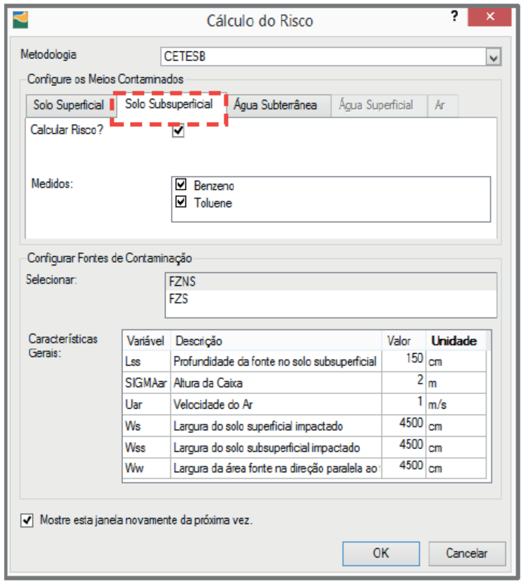


Figura 2.120 Calcular Risco.

O cálculo da CMA é realizado pelo botão ***Cálculo de CMA*** (). Uma janela específica para confirmar/editar as configurações da CMA ***é exibida*** na tela (Figura 2.121), semelhante às configurações para o cálculo do risco. Os resultados do cálculo da CMA são mostrados no módulo ***Resultados.***

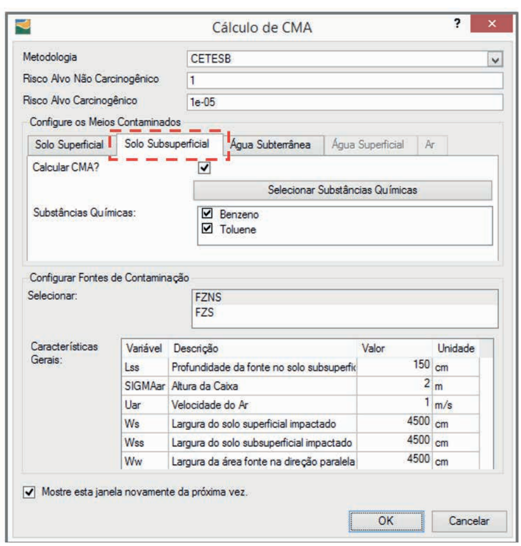


Figura 2.121 Cálculo da CMA.

2.2.5. Módulo Remediação

O módulo **Remediação** tem como objetivo a simulação das principais tecnologias de remediação sobre as áreas impactadas, e auxiliar o usuário na tomada de decisão sobre qual melhor técnica. Este módulo consiste em cinco (05) possíveis técnicas que podem ser utilizadas: ***Bombeamentos, Barreiras Lineares, Barreiras Poligonais, Áreas Reativas e Áreas de Cubagem*** (Figura 2.122).

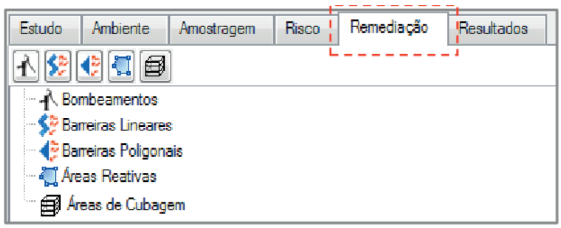


Figura 2.122 Módulo Remediação.

Bombeamentos**:** esta ferramenta é utilizada para simular um bombeamento ou injeção de água no aquífero. Para adicionar um elemento "*Bombeamento*" basta clicar no ícone correspondente (), posicionando a ferramenta na área de simulação, ou através da opção *"Editar Bombeamentos"* presente no **Painel de Edição** (Figura 2.123). Em seguida, clicar no ícone *Calcular Pluma* () para que o SCBR simule os componentes químicos considerados (Figura 2.124).

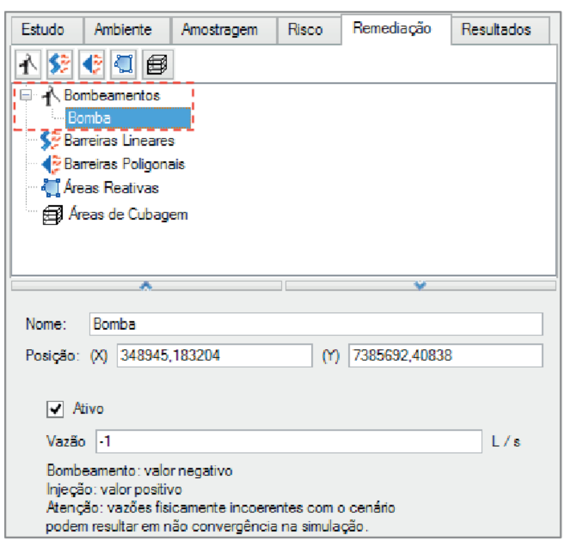


Figura 2.123 Opção Bombeamento.



Figura 2.124 Exemplo de bombeamento de uma pluma de benzeno em fase dissolvida.

IMPORTANTE: vazão com valor negativo significa bombeamento (retirada) de água, e com valor positivo significa injeção (introdução) de água.

OBS: para que a simulação do fluxo e do transporte de contaminantes considere os efeitos do bombeamento/injeção, o *check box* "***Ativo***" precisa estar selecionado.

Barreiras (Lineares e Poligonais): as barreiras lineares e poligonais possuem fluxo nulo, e assim, alteram o mapa potenciométrico (Figura 2.125). Essas ferramentas são utilizadas, por exemplo, no deslocamento das plumas de contaminação em fase dissolvida (barreira linear), evitando que bens a proteger sejam atingidos, ou na contenção física dos contaminantes (barreira poligonal) para posterior remediação complementar.

Para inserir uma barreira linear o usuário deve clicar em seu ícone ( ) e em seguida posicioná-la na área de visualização. Se for uma barreira poligonal, o mesmo deve clicar no ícone correspondente ( ). Feito isso, o usuário deve novamente simular a pluma de contaminação clicando no ícone da função *Calcular Pluma* ( ). Outra forma de inserir a barreira linear ou poligonal é utilizando os botões *Editar Barreias Lineares* e *Editar Barreiras Poligonais*, respectivamente, que estão disponíveis quando selecionado o elemento desejado (Figura 2.126).

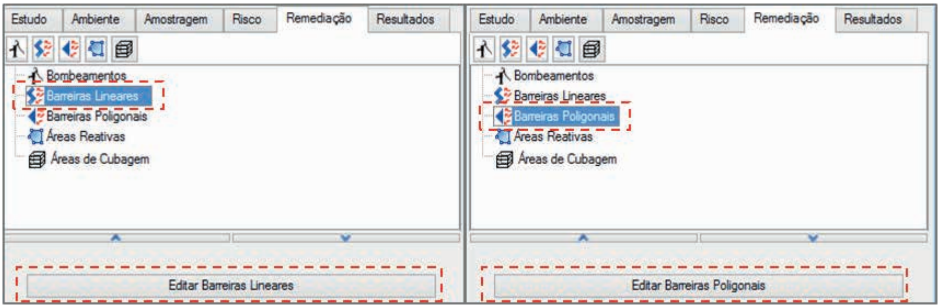


Figura 2.125 Opções Barreiras Lineares e Barreiras Poligonais.

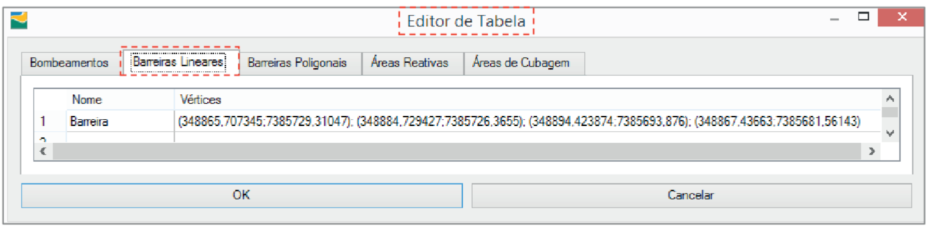


Figura 2.126 Configuração de Barreiras Lineares.

As Figuras 2.127 e 2.128 exemplificam o uso da barreira linear e poligonal, respectivamente, na contenção de uma pluma de benzeno em fase dissolvida. Observa-se, em ambos os casos, o fluxo subterrâneo nulo ao redor das barreiras e a interferência dessas tecnologias no fluxo local.



Figura 2.127 Exemplo de barreira linear.

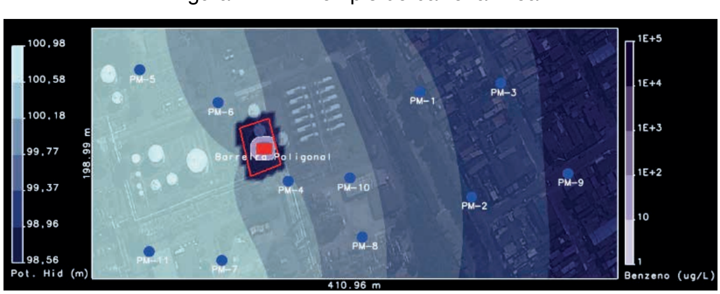


Figura 2.128 Exemplo de barreira poligonal.

<u>Áreas Reativas</u>: representam regiões com propriedades de biodegradação (coeficiente de decaimento ou meia vida) diferenciadas dentro do domínio de simulação, a fim de simular uma bioestimulação. A delimitação da área reativa no domínio de simulação pode ser feita após clicar no seu ícone *Área Reativa* ( ), ou a partir do botão *Editar Áreas Reativas* (Figura 2.129).

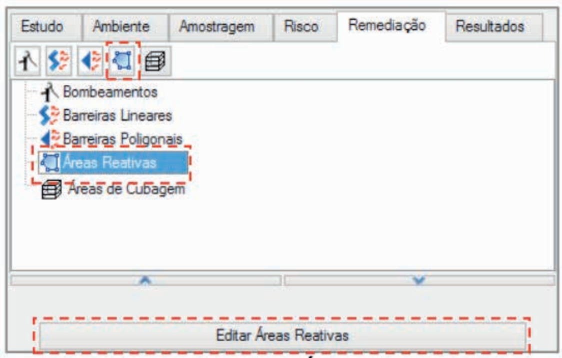


Figura 2.129 Opção Áreas Reativas.

Assim como disponível em outros elementos vistos anteriormente, o usuário pode configurar na *Área Reativa*, as suas *Propriedades do Aquífero* (porosidade efetiva e condutividade hidráulica), *Sorção* (densidade do solo e fração de carbono orgânico) e *Concentrações Observadas* (Figura 2.130).

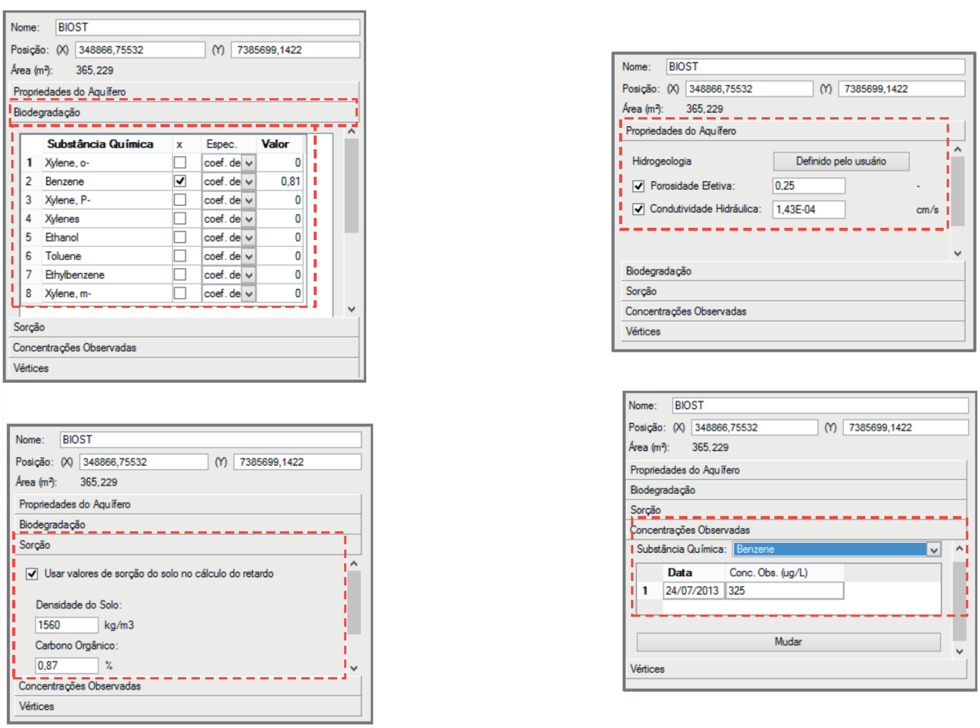


Figura 2.130 Configuração de Áreas Reativas.

***<u>Áreas de Cubagem</u>*:** a cubagem é uma ferramenta do SCBR com objetivo de estimar o volume de solo contaminado a ser retirado por escavação e posterior destinação final, por exemplo.

A delimitação da área que se deseja cubar pode ser feita pelo ícone **Área de Cubagem** () localizado na barra de elementos do módulo Remediação, ou a partir do botão *Editar Áreas de Cubagem,* dando acesso ao seu editor de tabela (Figura 2.131).

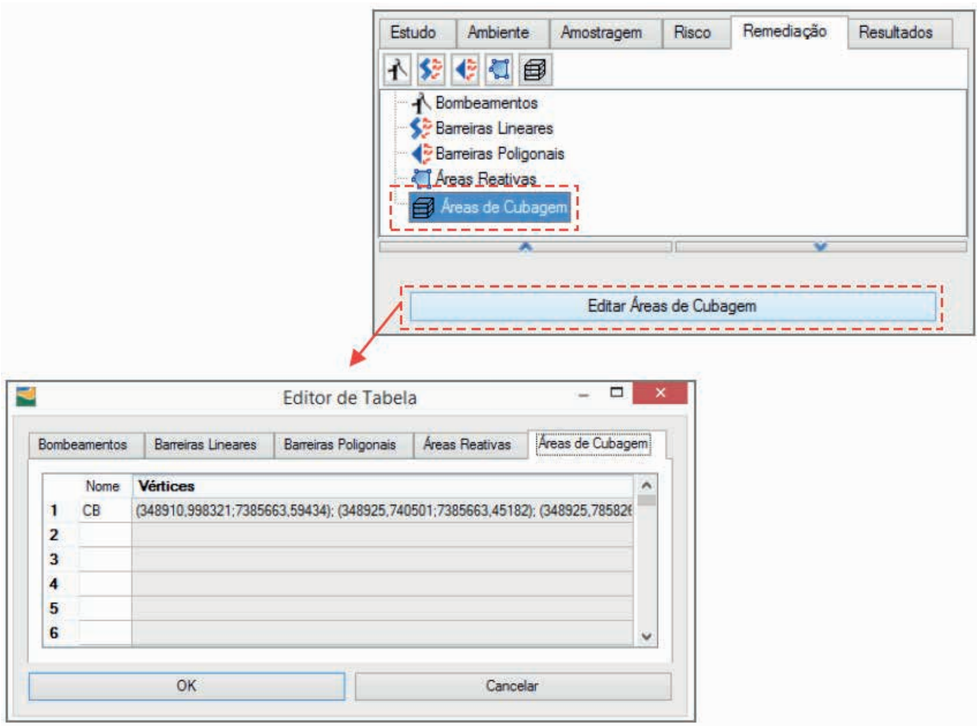


Figura 2.131 Configuração de Áreas de Cubagem.

- *<u>Configuração</u>:* permite o usuário visualizar e ter acesso às principais configurações da área de cubagem: Área ***(m²)***, ***Substância Química*** (escolhida a partir do botão *"Selecionar Substância Química"*), ***Uso de Solo***, ***Meta de Remediação (mg/kg)*** e ***Referência***.

As substâncias químicas de interesse no solo que se deseja cubar são selecionadas a partir da janela que fica disponível ao usuário após clicar no botão *Selecionar Substâncias Químicas* (Figura 2.132).

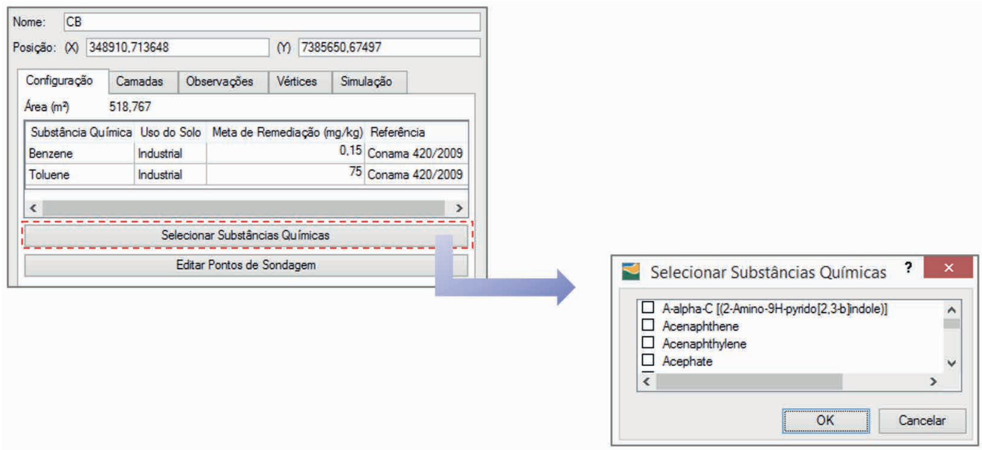


Figura 2.132 Substâncias Químicas selecionadas para Área de Cubagem.

Os pontos de sondagem são inseridos através da tabela *Editar Pontos de Sondagem*, onde são inseridas o nome da *Sondagem*, a *Posição x (m)* e *Posição y (m)*, nome da *Amostra*, a profundidade - *Prof. (m)*, *Data* da amostragem, *Densidade da Partícula - Dens. Partícula (g/cm³)*, *Porosidade Total (%)*, *Tipo do Solo*, *Fator de Empolamento do Solo (-)*, e a *concentração da substância no solo (mg/kg)* (Figura 2.133).

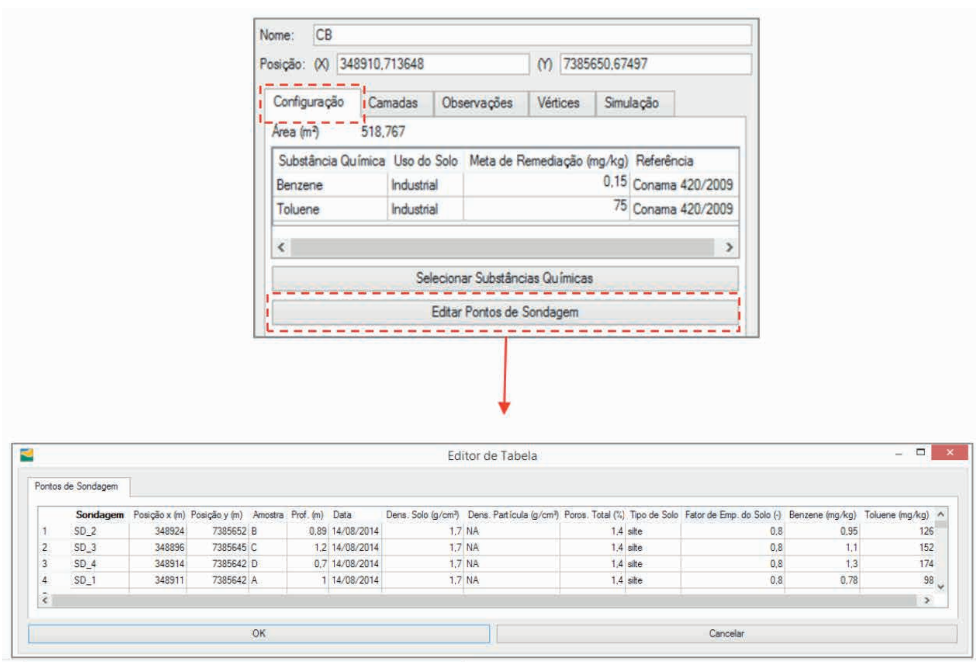


Figura 2.133 Configuração dos Pontos de Sondagem.

- *Camadas*: esta aba contém a identificação das camadas de solo e seus intervalos na profundidade "z" (vertical), que serão utilizadas no cálculo do volume de solo solto por camada, e massa total de solo (Figura 2.134). Após inserir as informações das sondagens, o SCBR sugere a quantidade e profundidade das camadas, no entanto, os campos são editáveis, podendo editar, remover ou adicionar camadas.

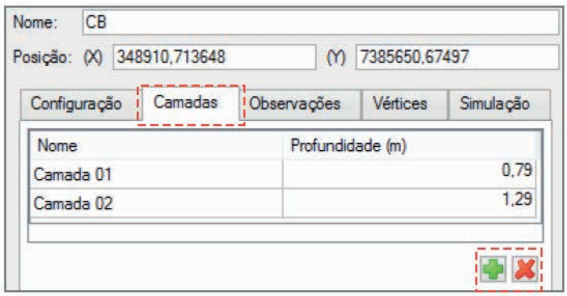


Figura 2.134 Configuração das Camadas do solo.

Observações: esta aba dispõe de um campo de texto caso o usuário queira adicionar informações a respeito da cubagem (Figura 2.135). As informações inseridas aqui são geradas no relatório (em *"Assistente de Relatório"*).

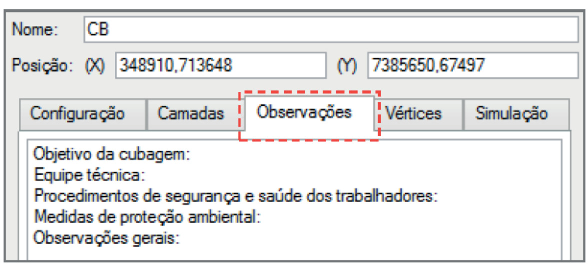


Figura 2.135 Aba Observações.

- *Vértices*: coordenadas dos vértices da área da cubagem delimitada (Figura 2.136).

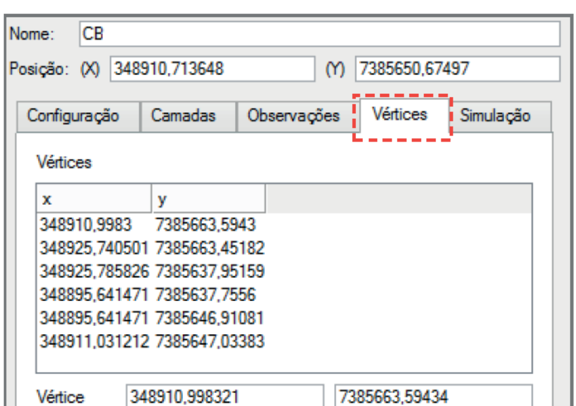


Figura 2.136 Aba Vértices.

- *Simulação*: são definidos o número de volumes de controle (direções "*i*" e "*j*") da área da cubagem e o método de interpolação das concentrações (*Inverso da distância ao quadrado* ou *Vizinho mais próximo*) (Figura 2.137).

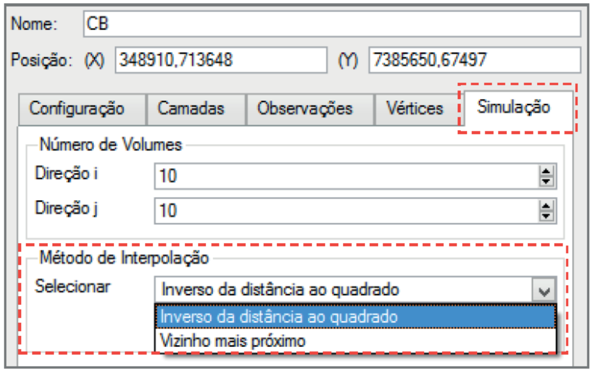


Figura 2.137 Configuração da Simulação.

Recomenda-se optar pelo método de interpolação que apresentar o menor erro quadrático médio (RMSE) do cálculo da concentração (módulo ***Resultados***).

O cálculo da cubagem é realizado pelo ícone *Calcular Cubagem* ( ), localizado na *Barra de Ferramentas* (Figura 2.138). Em seguida, será exibida uma janela para confirmar as substâncias químicas e a área em que se deseja calcular a cubagem.

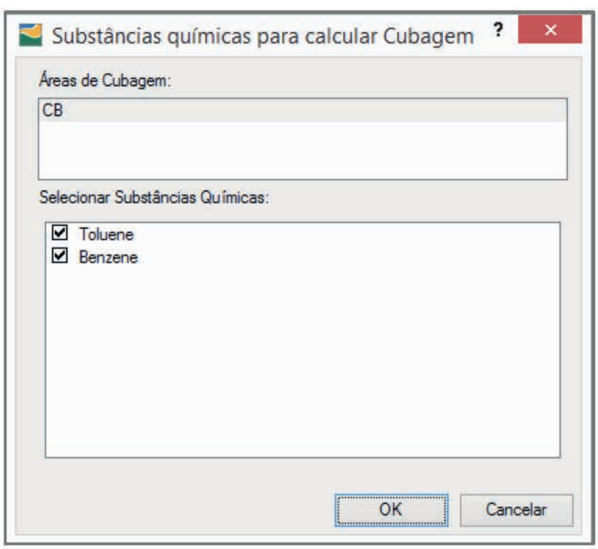


Figura 2.138 Calcular Cubagem.

2.2.6. Módulo Resultados

No módulo ***Resultados*** são apresentados os resultados das simulações do SCBR através de mapas e gráficos e informações pontuais. Para visualizar os resultados é necessário, primeiramente, realizar uma simulação. A simulação pode ser feita por meio

do menu ***Simulação*** (Simular Velocidades, Calcular Pluma) ou pelos ícones: *Simular Velocidades* ( ), *Calcular Pluma* ( ), Mídia não-saturada simulada ( ), *Calcular Plano de Amostragem* ( ), *Cálculo do Risco* ( ), *Cálculo da CMA* ( ) *e Calcular Cubagem* ( ).

Na versão 3.25, o *Painel de Navegação* do módulo *Resultados* possui as seguintes opções: barra de *Tempo de Simulação, Nova Intervenção, Mapas, Elementos de Ambiente, Elementos do Risco, Elementos de Remediação, Inspetores, Janelas de Plotagem, Resultados do Solo e do Ar, Curvas Recebidas e Intervenções* (Figura 2.139)**.**

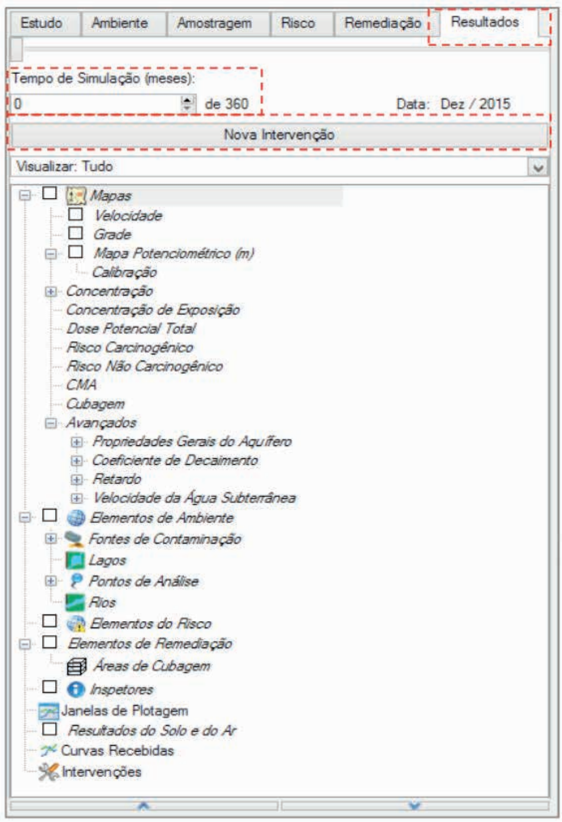


Figura 2.139 Módulo Resultados.

Tempo da Simulação: barra que permite visualizar a evolução do cenário simulado em função do tempo (Figura 2.140). O deslocamento do cursor da barra, para direita ou esquerda, permite visualizar o comportamento das plumas dissolvidas na água subterrânea ao longo do tempo. A caixa de texto pode ser utilizada para visualizar um tempo específico.

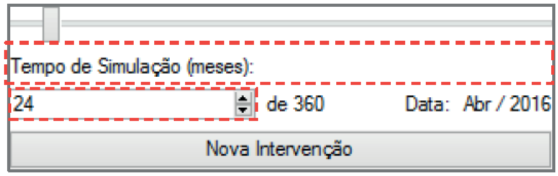


Figura 2.140 Configuração do Tempo de Simulação.

Nova Intervenção: a opção *Intervenções* controla as intervenções realizadas no SCBR. É uma ferramenta que permite testar ações que alteram o cenário simulado, em um momento posterior ao início da simulação (Figura 2.141). O uso de *Intervenções* no SCBR é indicado para a aplicação de determinada ação corretiva, ou uma sequência destas. Pode, por exemplo, testar o resultado ou a eficiência das seguintes ações: bombeamento, barreiras, remediação ativa, redução de massa na fonte, alteração das taxas de biodegradação etc.

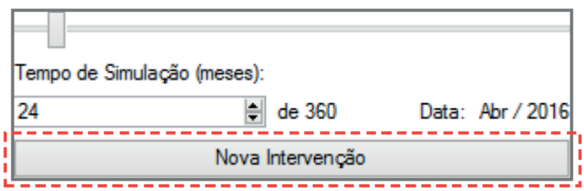


Figura 2.141 Botão Nova Intervenção.

O botão ***Nova Intervenção*** cria um arquivo "intervenção.scbr", mantendo a simulação original até o momento onde foi realizada a intervenção. Já no novo arquivo criado, as alterações realizadas (por exemplo: bombeamento ou barreira) somente surtirão efeito nos próximos passos de tempo (*timestep)* a partir da intervenção (Figura 2.142).

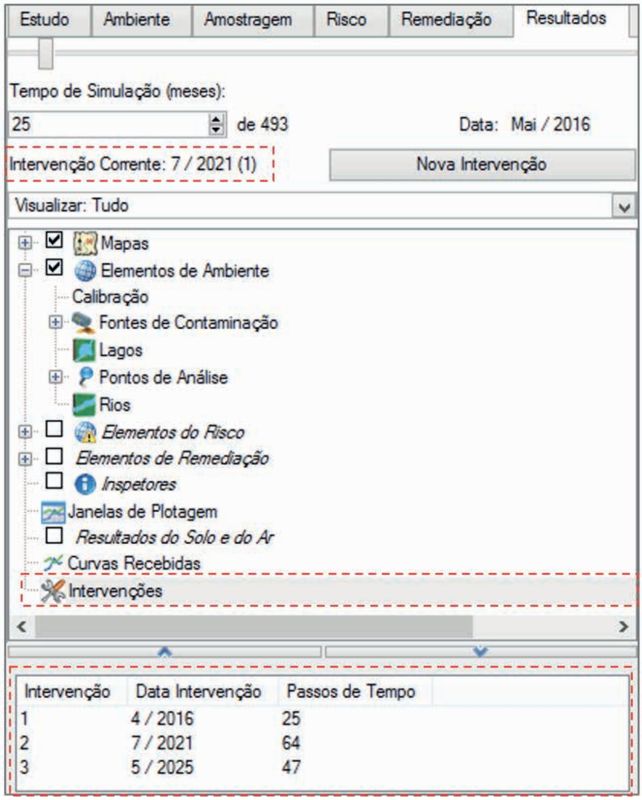


Figura 2.142 Informação referente à Nova Intervenção.

Do lado esquerdo do botão ***"Nova Intervenção"*** tem-se as seguintes informações:

a) valor entre parênteses: mostra a quantidade de intervenções (no exemplo, igual a 1) que ocorreu até o tempo de simulação analisado (25 meses);

b) data da próxima intervenção (no exemplo, igual a 7/2021).

Selecionando-se a opção ***Intervenções*** no *Painel de Navegação,* pode-se verificar quais foram as intervenções que ocorreram no arquivo *intervenções.scbr*. No exemplo acima, foram realizadas 03 (três) intervenções, com o intuito de testar a eficácia de ações corretivas, em 04/2016, 07/2021 e 05/2025.

Limitação das intervenções: em algumas situações pode ocorrer que não seja possível reconfigurar o simulador após a intervenção. Isso acontece, pois, a nova condição estabelecida não é compatível com os parâmetros de simulação determinados anteriormente, e assim, a simulação pode não convergir.

Mapas: a opção *Mapas* permite visualizar os mapas gerados nas simulações. Cada mapa possui:

a) *Caixa de Seleção*, quando selecionada, permite visualizar o mapa na área de visualização (Figura 2.143);

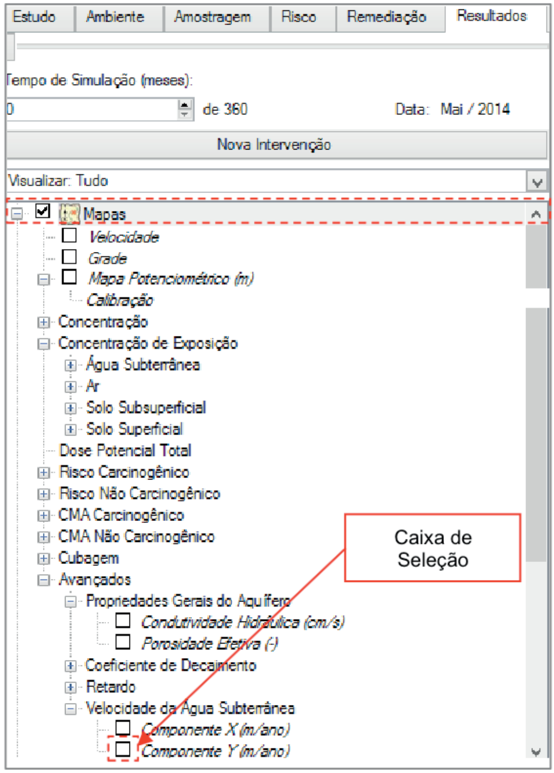


Figura 2.143 Opção Mapas – Caixa de seleção.

b) _Painel de Edição_, que permite modificar características do mapa como cor (vetor, malha, plumas etc.), tipo de escala, limites mínimo e máximo da escala, valor de corte, número de *ticks*, transparência do mapa, e a opção de visualizar o mapa com ou sem interpolação. Estas opções ficam disponíveis quando se escolhe a visualização de um mapa específico (Figura 2.144).

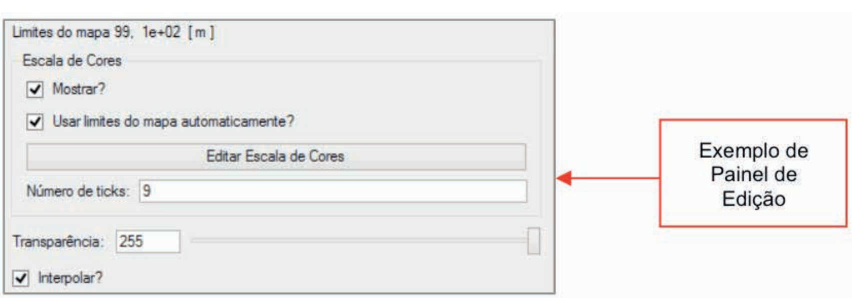


Figura 2.144 Opção Mapas - Painel de Edição de Mapas.

O SCBR possui os seguintes mapas:

- *Mapa de Velocidade*: mapa vetorial apresentando a direção, o módulo e o sentido do vetor velocidade (Figura 2.145). O *Painel de Edição* do mapa de *Velocidades* possui a opção ***Cor,*** que modifica a cor do vetor velocidade, e a opção ***Escala,*** que altera o tamanho do vetor velocidade. Se o mapa de velocidades estiver selecionado no painel de navegação e, mesmo assim, os vetores velocidades não estiverem visíveis, possivelmente o valor da escala não é grande o suficiente.



Figura 2.145 Exemplificação de Mapa de Velocidade.

- *Mapa de Grade:* apresenta a malha (volumes de controle) definida para o domínio de simulação (Figura 2.146).

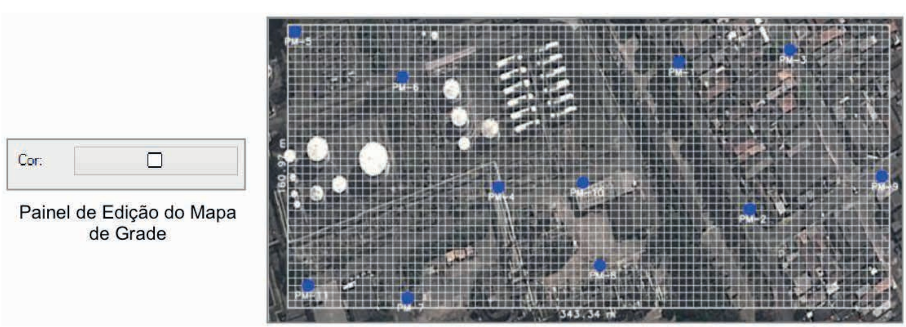


Figura 2.146 Exemplificação de Mapa de Grade.

- *Mapa Potenciométrico:* apresenta o campo potenciométrico através de curvas isopotenciométricas (Figura 2.147).

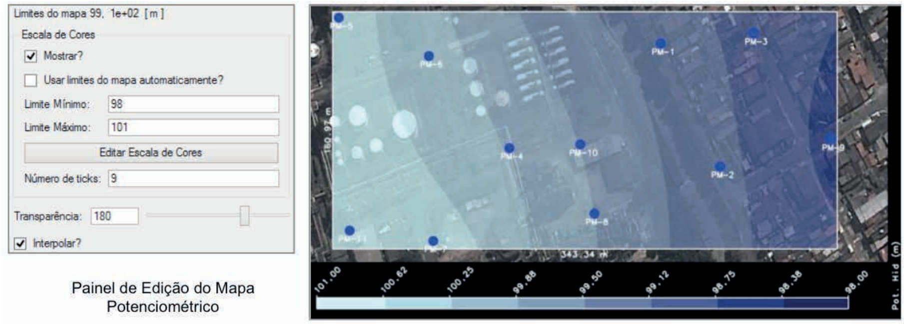


Figura 2.147 Exemplificação de Mapa Potenciométrico.

No *Mapa Potenciométrico* existe a função ***Calibração***, que se refere à calibração do modelo hidrogeológico do estudo avaliado, passo fundamental na simulação do fluxo, pois avalia como a predição dos valores simulados se relaciona com os valores medidos (Figura 2.148).

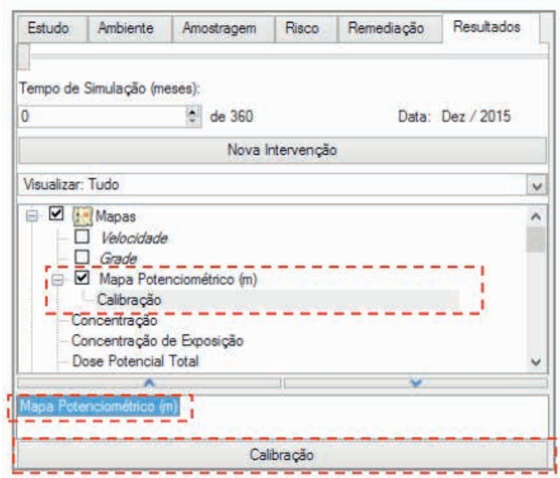


Figura 2.148 Calibração de Mapa Potenciométrico.

Ao selecionar a função *Calibração*, aparece no painel de edição o item ***Mapa Potenciométrico.*** Clicando-se sobre o botão ***Calibração*** (Figura 2.148), os resultados (representação gráfica e análise estatística) são apresentados na área de visualização:

a) **Análise Gráfica (qualitativa):** gráfico comparativo entre valores simulados (eixo *y*) e valores medidos (eixo *x*) de carga hidráulica, contendo uma reta comparativa de 45° (que representa os valores simulados iguais aos valores medidos) (Figura 2.149);

b) **Análise Residual (quantitativa):** contém as estatísticas descritivas dos valores de carga hidráulica simulados e medidos (Figura 2.150), com as seguintes informações:

- Número de pontos: quantitativo de valores de carga hidráulica medida utilizados na simulação;
- Amplitude (m): é a diferença entre o valor máximo e mínimo da carga hidráulica medida dentro do domínio de simulação;
- Resíduo Mínimo (m): a menor diferença entre o valor simulado e o valor observado (medido);
- Resíduo Máximo (m): a maior diferença entre o valor simulado e o valor observado (medido);
- Média Residual (m): representa a média dos resíduos, que é obtida pelo somatório de todos os resíduos dividido pelo número total de pontos utilizados;
- Média Residual Absoluta (m): considera apenas o módulo das diferenças entre os valores simulados e medidos;
- Desvio Padrão Residual: é o desvio padrão entre os resíduos e a média residual;
- Desvio Padrão Residual/Amplitude (%): é o quociente entre desvio padrão residual e a amplitude, cujo valor recomendado deve ser inferior a 15% ;
- Raiz do Erro Quadrático Médio (RMS): é a raiz do somatório do quadrado dos resíduos dividido pelo número de pontos analisados.
- Raiz do Erro Quadrático Médio Normalizado: é o quociente entre o RMS e a Amplitude;
- Coeficiente de Correlação: é a medida da correlação entre os valores simulados e observados em campo. Este coeficiente assume valores entre -1 e 1.

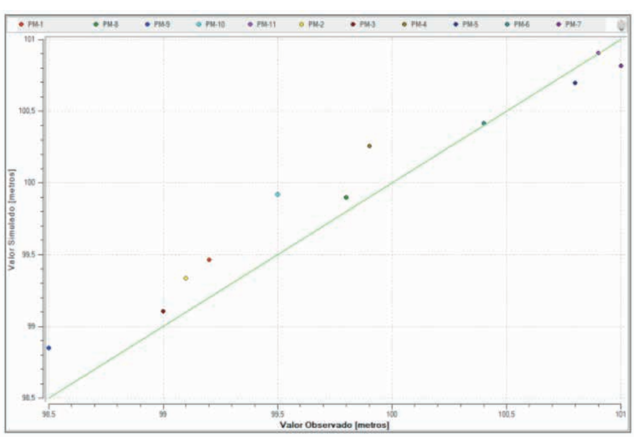


Figura 2.149 Representação gráfica da calibração do fluxo subterrâneo.

Gráfico | Análise Residual

Nome	Carga Hidráulica Simulada	Carga Hidráulica Medida	Resíduo
PM-11	100.904977681	100.9	0.00497768062752
PM-6	100.416177217	100.4	0.0161772166995
PM-8	99.899286631	99.8	0.0992866310258
PM-5	100.695340125	100.8	-0.104659874896
PM-3	99.1078360063	99.0	0.107836006263
PM-7	100.815254454	101.0	-0.184745545888
PM-2	99.3373931694	99.1	0.237393169396
PM-1	99.4632779478	99.2	0.263277947772
PM-9	98.8482696826	98.5	0.348269682553
PM-4	100.255815502	99.9	0.355815501689
PM-10	99.9186984264	99.5	0.418698426415

Número de pontos	11
Amplitude	2,50E+00
Resíduo Mínimo	4,98E-03
Resíduo Máximo	4,19E-01
Média Residual	1,42E-01
Média Residual Absoluta	1,95E-01
Desvio Padrão Residual	1,98E-01
Desvio Padrão Residual/Amplitude	7,94%
Raiz do Erro Quadrático Médio (RMS)	2,37E-01
Raiz do Erro Quadrático Médio Normalizado	9,46%
Coeficiente de Correlação	9,84E-01

Figura 2.150 Estatísticas descritivas (análise residual) da calibração do fluxo subterrâneo.

- *Mapa de Concentração:* para cada contaminante simulado na fase dissolvida é apresentado um mapa de isoconcentração que varia com o tempo de simulação.



Painel de edição do Mapa de Concentração

Figura 2.151 Mapa da pluma de concentração de benzeno em fase dissolvida (zona saturada) no tempo t = 180 meses.

O ***Painel de Edição*** do mapa *de Concentração,* e demais mapas, possui as seguintes opções:

- Mostrar?: quando selecionada, exibe a escala do mapa selecionado;
- Usar Escala Logarítmica?: permite o usuário trabalhar com valores logarítmicos na escala do mapa;
- Usar limites do mapa automaticamente?: o SCBR atribui aos valores mínimo e máximo da escala de cores como sendo o valor mínimo e o valor máximo do mapa. Caso esta opção não seja selecionada, o usuário pode informar o valor mínimo (Limite Mínimo) e o valor máximo (Limite Máximo) da escala de cores;
- Valor de Corte: valor mínimo a partir do qual o SCBR exibirá os resultados no mapa;

- Editar Escala de Cores: abre o editor de escala de cores;
- Número de ticks: indica o número de divisões da escala de cores, sendo que este número deve ser maior que 1 e menor que 20;
- Transparência: define a opacidade/transparência do mapa (0 = transparência máxima; e 255 = opacidade máxima);
- Interpolar?: exibe o resultado interpolado no mapa.

O ***Editor de Escala de Cores*** faz parte do painel de edição dos mapas e permite editar a coloração da escala (Figura 2.152). Pode-se alterar o valor atribuído a uma determinada cor por meio de barra de cores, (A) movendo o cursor ou (B) informando (após clicar sobre determinado divisor de cores) o valor na caixa de texto ***Posição.*** Pode-se ainda adicionar ou remover uma nova cor, a partir dos botões (C) de sinal de mais (+) e de menos (-). A opção ***Use color bands*** (*Usar bandas de cores),* quando selecionada, (D) divide a escala em bandas de coloração bem definidas. Quando não selecionada, a escala apresenta um efeito degradê entre as cores.

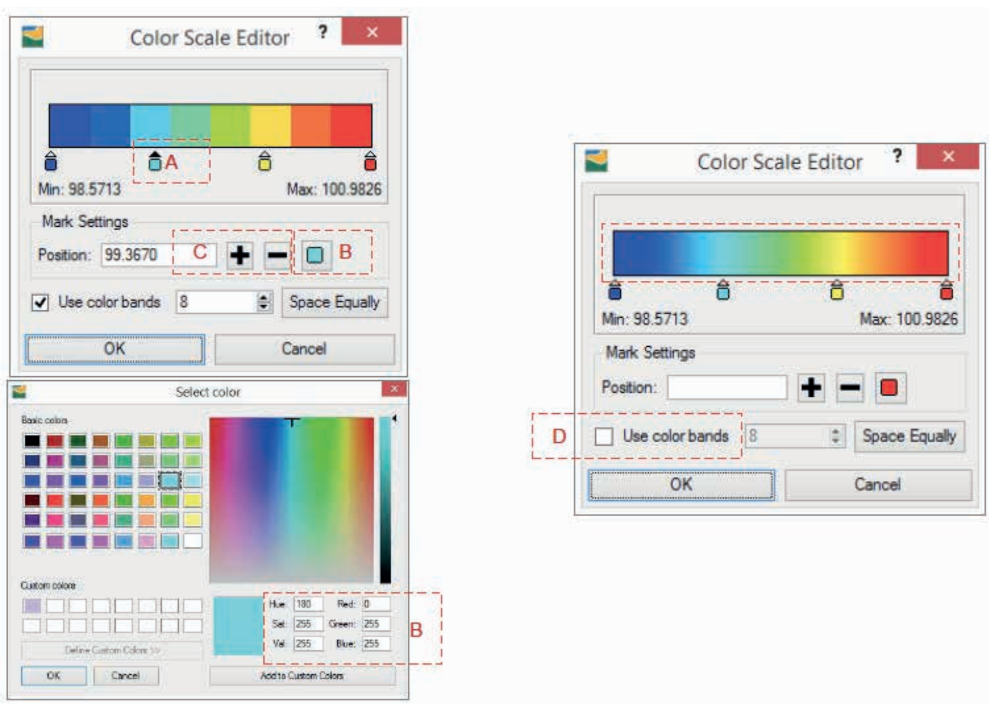


Figura 2.152 Editor de Escala de Cores.

- *Mapa de Concentração de Exposição*: referente à concentração medida no meio (água subterrânea, solo subsuperficial e solo superficial) utilizada no cálculo do risco à saúde humana. O mapa é gerado em cada unidade de exposição configurada pelo usuário (Figura 2.153).

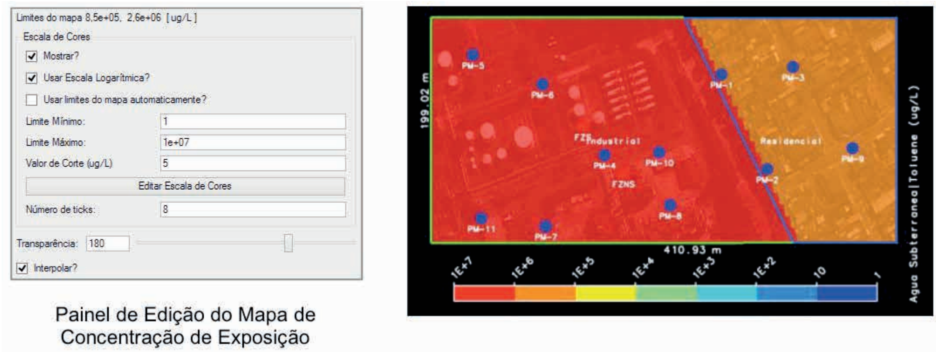


Figura 2.153 Mapa de concentração de exposição de tolueno na água subterrânea.

OBS:

1) No solo superficial e subsuperficial, os mapas de concentração de exposição são referentes aos valores medidos nestes meios e que foram inseridos pelo usuário.

2) As concentrações de exposição no meio *Ar* (região acima da fonte) são calculadas a partir dos fatores de volatilização (para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

3) Na versão 3.25, o SCBR calcula e gera o mapa de concentração de exposição simulada (Concentrações Máximas, UCL 95, UCL 99 ou Variável), identificada na árvore do módulo *Resultados* com sinal de asterisco (*) e *tooltip* (quando com o mouse sobre o mapa específico) exibindo o método utilizado. Este mapa representa as concentrações simuladas de determinada SQI em cada volume de controle, pelo método selecionado pelo usuário (Concentrações Máximas, UCL 95, UCL 99 ou Variável) no módulo Risco, e está disponível somente para o meio *água subterrânea* (Figura 2.154).

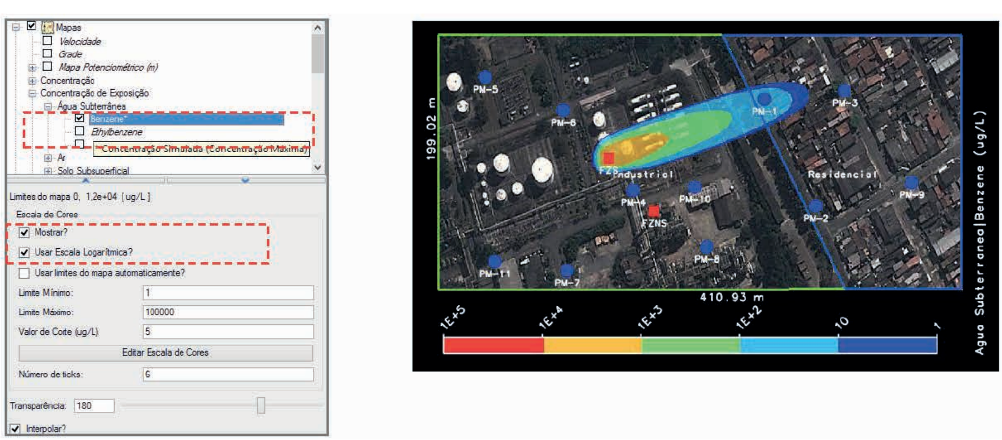


Figura 2.154 Mapa de concentração de exposição de benzeno na água subterrânea a partir de concentrações simuladas (Concentração Máxima).

- *Mapas de Risco Carcinogênico e Não Carcinogênico*: os mapas gerados a partir do cálculo do risco à saúde humana incluem: *Total* (carcinogênico e não carcinogênico, considerando múltiplas rotas de substâncias químicas), *Meios Contaminados* (múltiplas rotas e substâncias químicas) e *Receptores* (múltiplas rotas e substâncias químicas). Abaixo são exemplificados alguns mapas de risco (carcinogênico) calculados a partir de concentração medida e simulada (Figura 2.155).

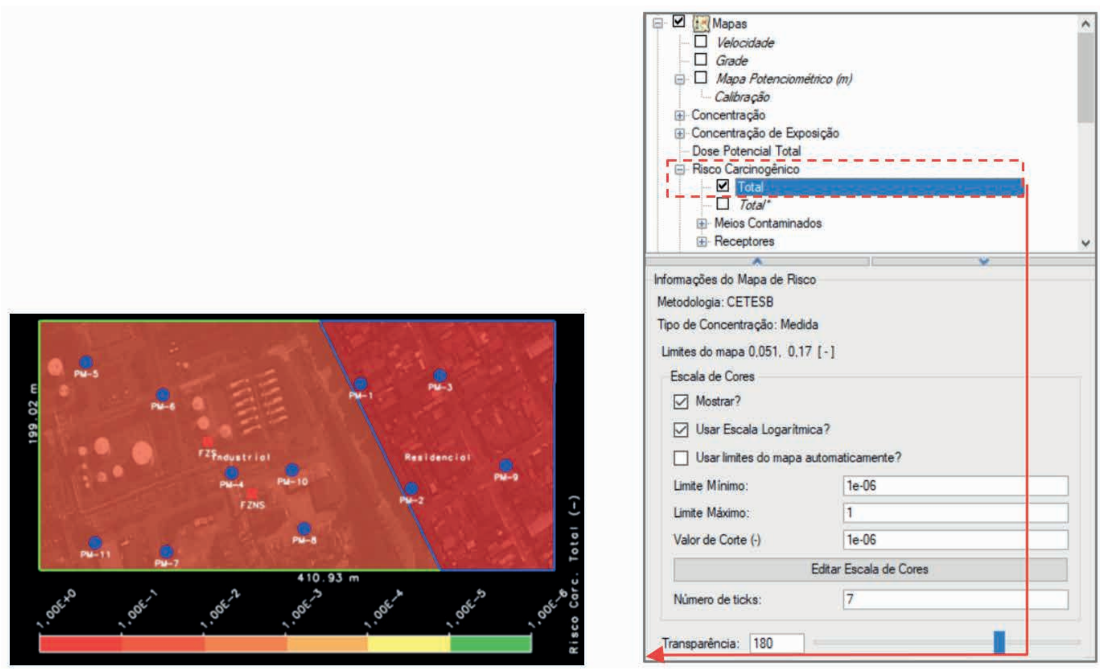


Figura 2.155 Exemplificação do Mapa de Risco Carcinogênico Total.

No caso do risco calculado a partir de concentrações simuladas na água subterrânea, o SCBR sinaliza os mapas gerados através do asterisco (*) na frente do nome, além de mostrar um *tooltip* (quando o mouse sobre o mapa) indicando o método utilizado (Concentração Máxima, UCL 95, UCL 99 ou Concentração Variável) (Figura 2.156).

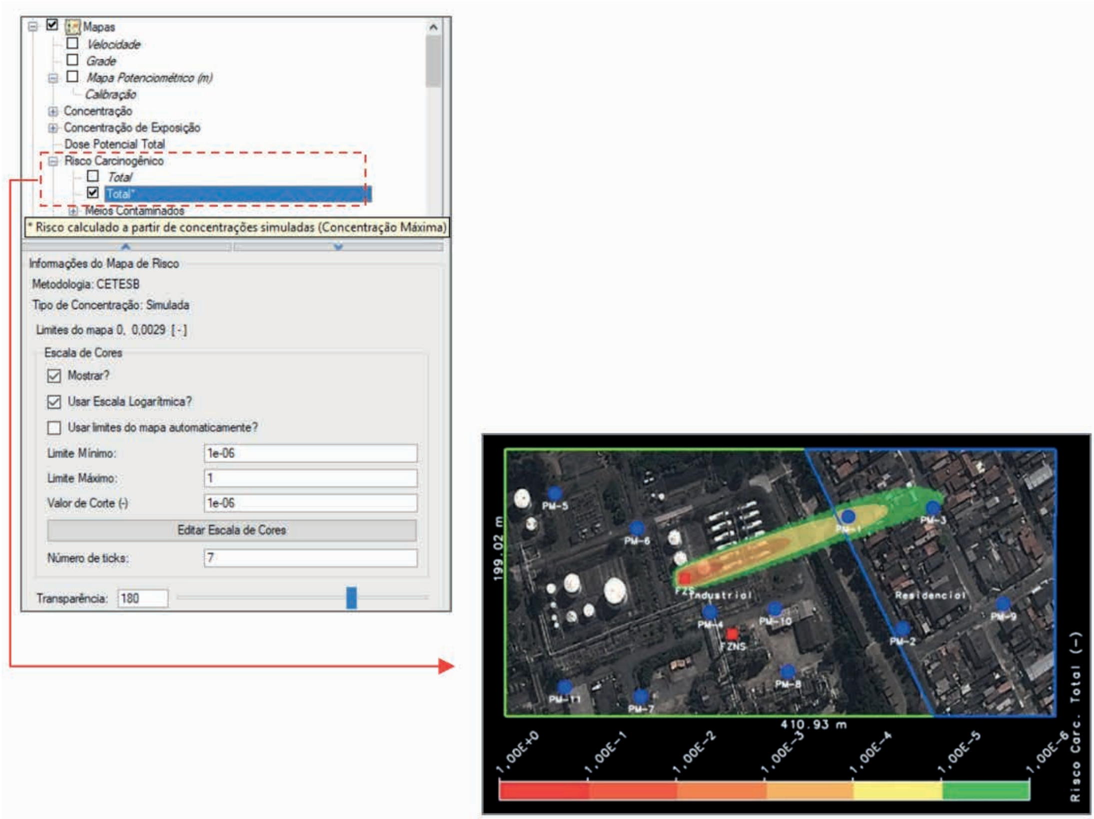


Figura 2.156 Geração do Mapa de Risco Carcinogênico Total* simulado.

- *<u>Mapas de Concentração Máxima Aceitável (CMA) Carcinogênico e Não Carcinogênico:</u>* a concentração máxima aceitável (CMA) é calculada por substância química de interesse e por meio contaminado. O SCBR disponibiliza dois tipos de mapas de CMA, para cada unidade de exposição delimitada pelo usuário no domínio de simulação: relação entre *Concentração / CMA Crítica* e *CMA Crítica* (Figura 2.157). No primeiro tipo (*Concentração / CMA Crítica*) é possível visualizar quantas vezes (escala logarítmica) a concentração inserida pelo usuário (módulo Risco) está acima ou abaixo da CMA crítica (concentração máxima aplicável), já o segundo mapa, a menor CMA (crítica) calculada pelo SCBR de determinada SQI no meio considerado.

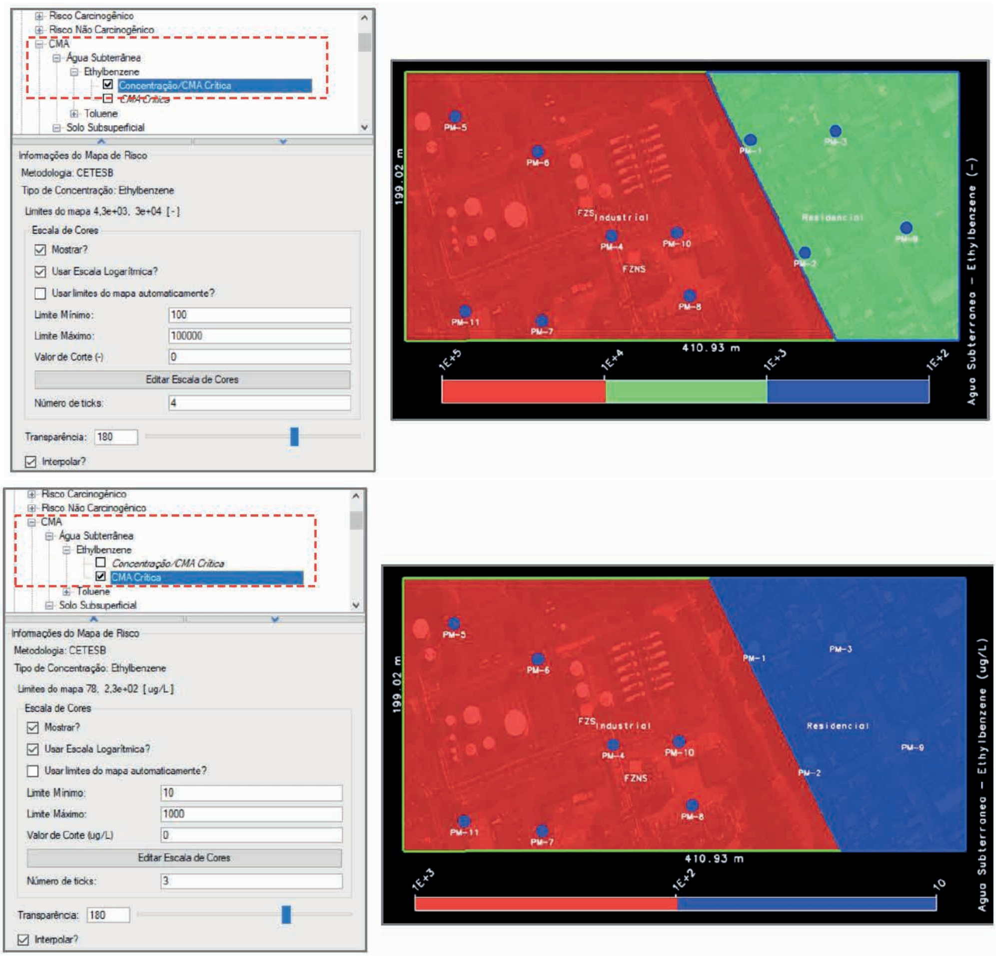


Figura 2.157 Geração de Mapas de Concentração Máxima Aceitável.

IMPORTANTE: o cálculo da CMA pelo SCBR só é possível após o usuário calular o risco à saúde humana na etapa anterior, para que possar ser gerado o mapa da relação *Concentração / CMA Crítica*.

- *Mapas da Cubagem*: ao clicar no item *Cubagem*, aparece a nome da área acrescida do tipo de interpolação de dados configurados no módulo Remediação. Em seguida, são apresentadas as camadas de solo com seus respectivos intervalos na profundidade "z". A cada camada são apresentados os seguintes mapas (Figura 2.158): *mapa total* (A), que representa uma estimativa da área a ser cubada, e que é delimitada a partir de todas as *substâncias presentes no solo da camada analisada* (B e C); e *mapa de concentração no solo* para cada substância (D).

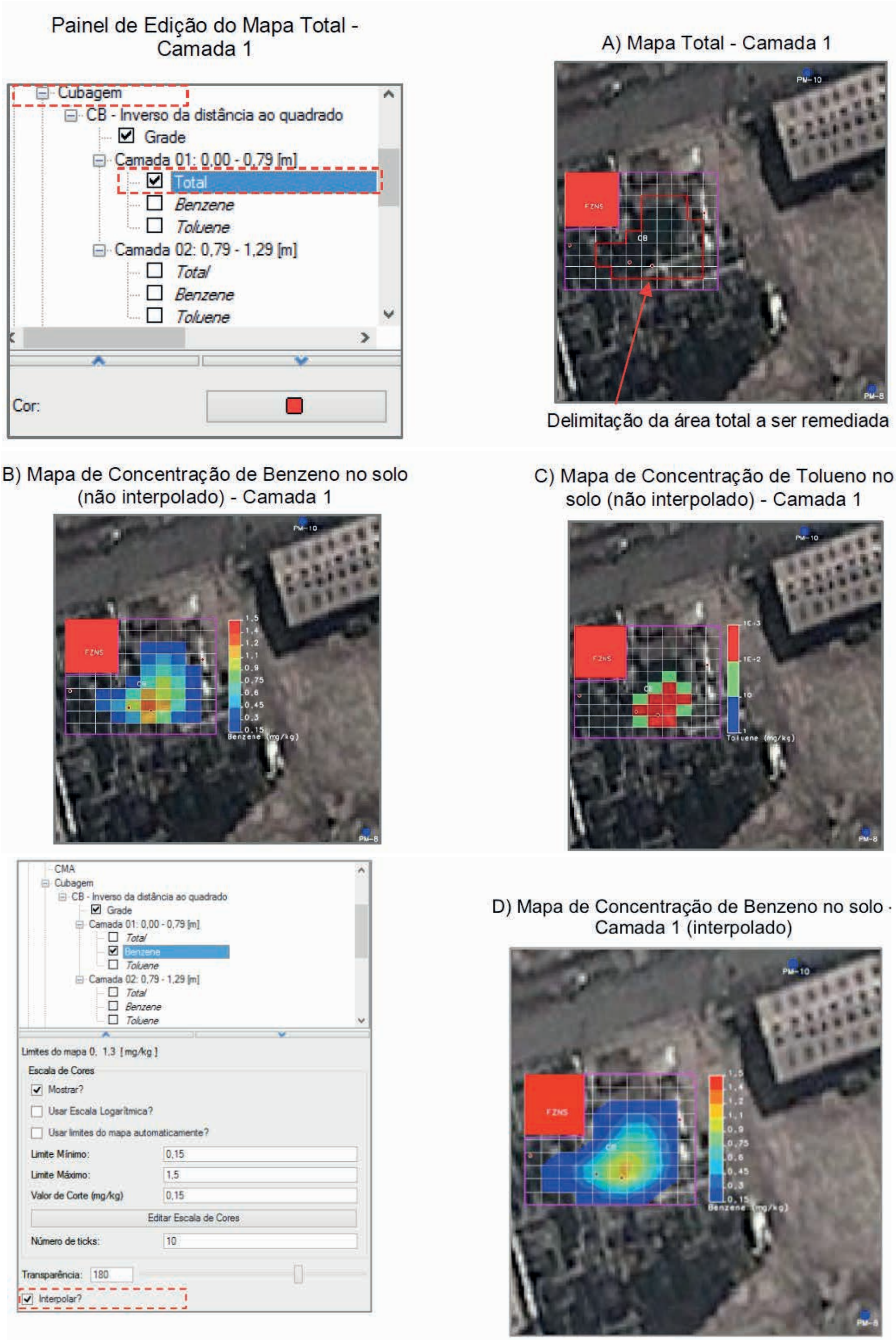


Figura 2.158 Opções de mapas de Cubagem.

- *Mapa da Condutividade Hidráulica*: considera a heterogeneidade do aquífero a partir de diferentes valores de condutividade hidráulica inseridos nos pontos de análise, criando o mapa pelo método do vizinho mais próximo (Figura 2.159).

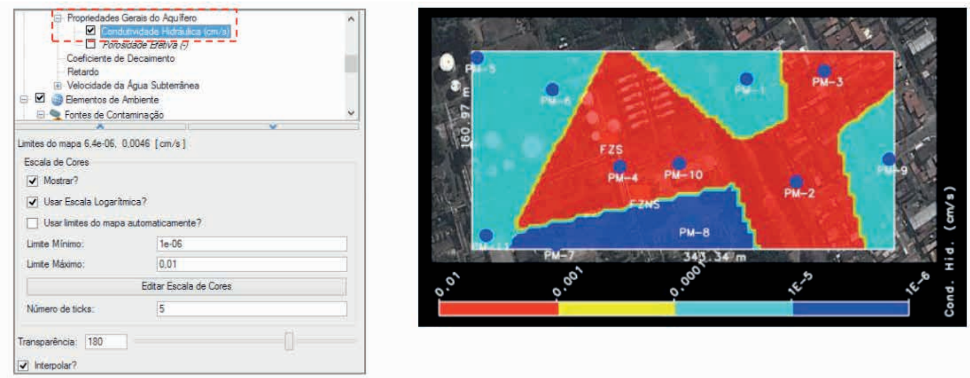


Figura 2.159 Mapa de Condutividade Hidráulica.

- *Mapa da Porosidade Efetiva*: assim como o mapa de condutividade hidráulica, considera a heterogeneidade do aquífero a partir de diferentes valores de porosidade efetiva nos pontos de análise (Figura 2.160).

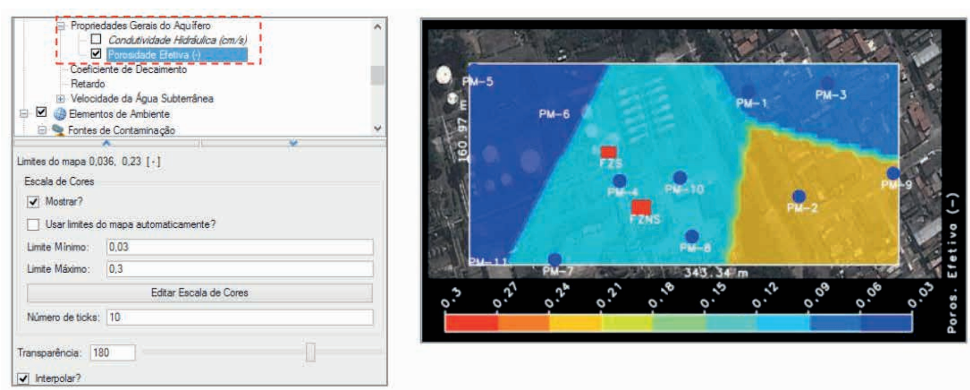


Figura 2.160 Mapa de Porosidade Efetiva.

- *Mapa de Coeficiente de Decaimento*: para simular o mapa de coeficiente de decaimento de uma determinada substância é necessário inserir o próprio valor do parâmetro ou o valor da meia vida (neste caso, o coeficiente é calculado). O usuário pode inserir os parâmetros mencionados na configuração da Fonte de Contaminação (item *Substância Química* – módulo Ambiente*)*, ou na janela "*Componentes para Simular*", que aparece após clicar sobre o ícone "*Calcular Pluma"* (Figura 2.161).



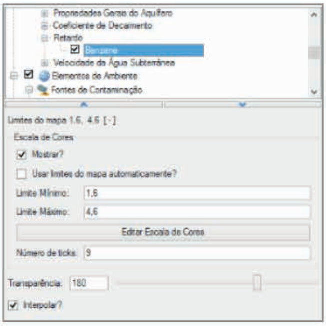
Item *"Biodegradação"* na Fonte de Contaminação (módulo Ambiente)

Janela *"Componentes para Simular"*

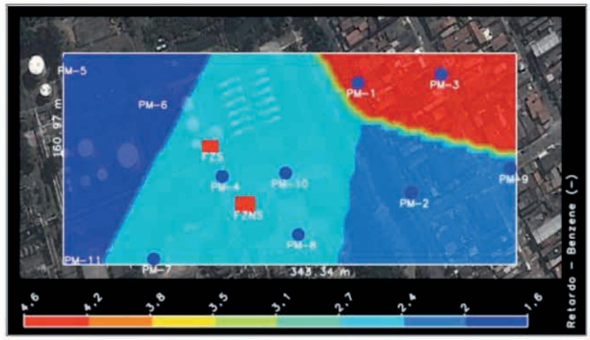
Painel de Edição do Mapa do Coeficiente de Decaimento

Figura 2.161 Passos para geração do Mapa do Coeficiente de Decaimento.

- <u>*Mapa de Retardo*</u>: o mapa do retardo de uma substância química de interesse é calculado a partir de parâmetros hidrogeológicos do solo (densidade do solo, carbono orgânico e porosidade efetiva) e físico-químico da SQI (Coeficiente de Partição Carbono Orgânico-Água), contido no banco de dados do SCBR. Os valores dos parâmetros hidrogeológicos são aqueles inseridos em "*Propriedades Gerais do Aquífero" e "Sorção"* (módulo Ambiente), ou nesses mesmos itens, mas nos pontos de análise (módulo Ambiente), quando considerado a heterogeneidade do aquífero (Figura 2.162).



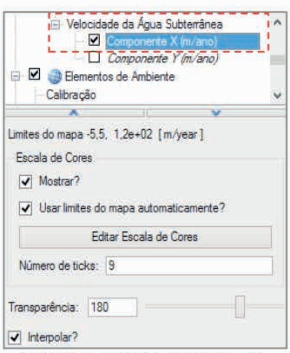
Painel de Edição do Mapa do Retardo



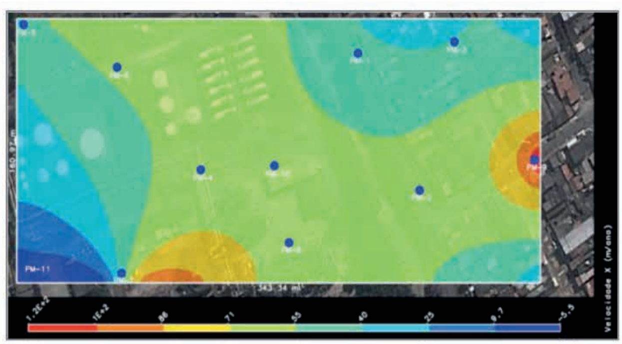
Mapa do Coeficiente do Retardo do Benzeno

Figura 2.162 Mapa de Retardo.

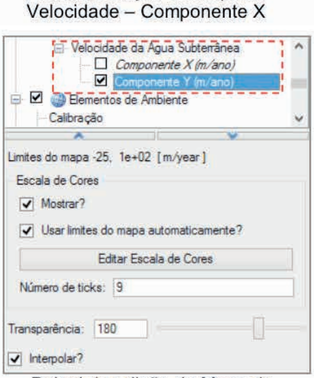
- *Mapas de Velocidade da água subterrânea - Componente X e Componente Y:* mapas de velocidade da água subterrânea (m/ano) na direção *x* (direção X é o eixo paralelo à largura da área de simulação) e *y* (direção y é o eixo paralelo à altura da área de simulação) (Figura 2.163).



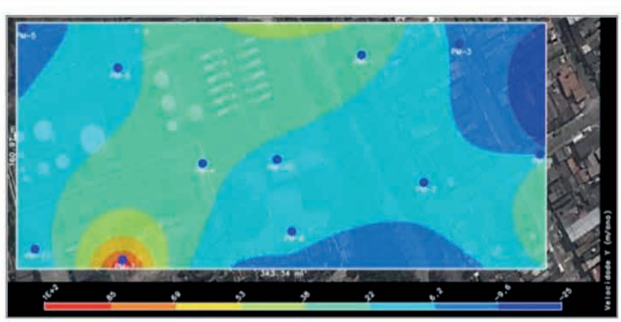
Painel de edição do Mapa de Velocidade – Componente X



Mapa de Velocidade – Componente X



Painel de edição do Mapa de Velocidade – Componente Y



Mapa de Velocidade – Componente Y

Figura 2.163 Mapa de Velocidade.

- *Elementos do Ambiente:* a opção *Elementos do Ambiente* permite visualizar as informações sobre os elementos *Pontos de Análise, Fontes de Contaminação, Rios* e *Lagos,* utilizados para configurar o cenário (Figura 2.164). A caixa de seleção *Elementos de Ambiente* permite visualizar ou esconder os elementos mencionados na área de visualização do SCBR.

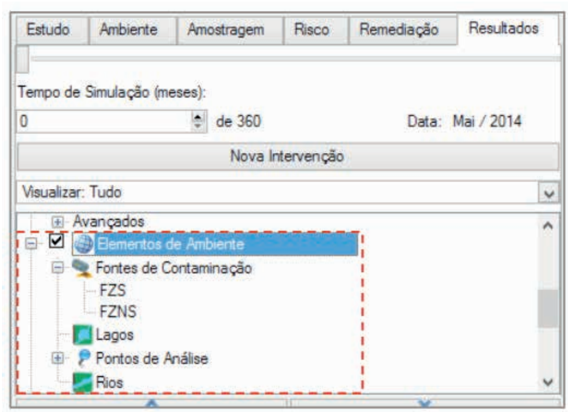


Figura 2.164 Elementos do Ambiente.

Ao selecionar um elemento no ***Painel de Navegação*** (fonte de contaminação, lago, ponto de análise ou rio) é possível visualizar as informações da simulação sobre este elemento. A Figura 2.165 ilustra informações sobre a *Fonte de Contaminação* selecionada (FZS). Alguns resultados da simulação refletem o estado do elemento no ***tempo de simulação*** escolhido (no exemplo ao lado, t = 180 meses), ou seja, variam a cada passo de tempo escolhido. Outras são inerentes ao tempo (concentração de exposição, risco, CMA, velocidades (magnitude e direção), coeficiente de decaimento, retardo, velocidade da água subterrânea (eixos x e y) etc.

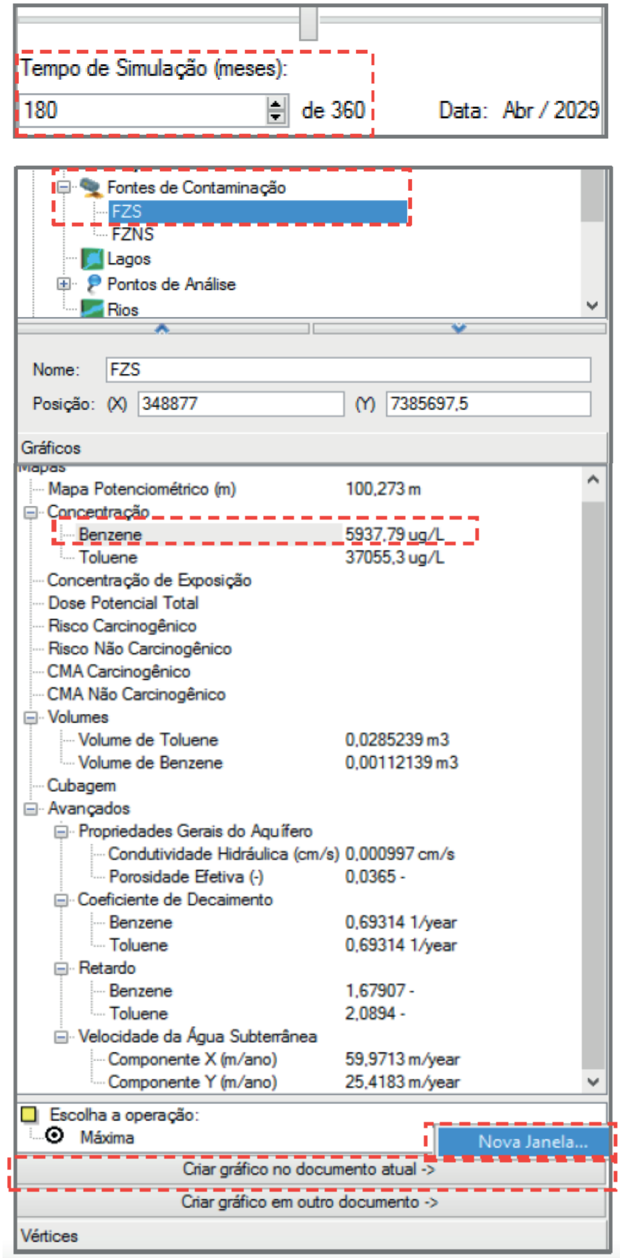


Figura 2.165 Informações sobre a Fonte de Contaminação.

O usuário ainda consegue obter resultados mais detalhados sobre determinado elemento através de gráficos. Após selecionar o tipo de resultado desejado (ex: concentração de benzeno), as opções ***Criar gráfico no documento atual*** e ***Criar gráfico em outro documento*** ficam disponíveis. A primeira opção cria um gráfico vinculado ao

arquivo da simulação corrente, e a segunda opção permite exportar o gráfico para outra simulação que esteja aberta no SCBR**.** Para visualizar o gráfico, deve ser selecionada a opção ***Nova Janela***.

Elementos do Risco**:** tem a finalidade de informar os resultados numéricos do cálculo do risco à saúde humana e da CMA, em cada unidade de exposição definida pelo usuário. Após clicar sobre o *Elementos do Risco* e selecionar a unidade de exposição desejada, são exibidos os resultados na janela abaixo (Figura 2.166). Assim como é feito nos mapas dos resultados do Risco, o SCBR sinaliza com asterisco (*) os resultados do risco a partir de concentrações simuladas.

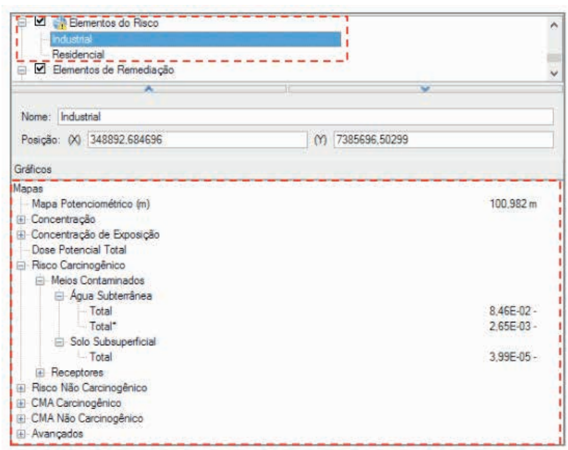


Figura 2.166 Elementos do Risco.

Elementos de Remediação**:** permite visualizar os resultados numéricos a respeito da área de cubagem solo delimitada pelo usuário (Figura 2.167). Inicialmente, são exibidos o nome da área seguido do tipo de método de interpolação adotado, e na sequência, os resultados gerais obtidos da área, por substância química e por camada de solo. A partir do resultado do RMSE (Erro Quadrático Médio) pode-se selecionar qual melhor método de interpolação a ser utilizado na estimativa do volume de solo contaminado.

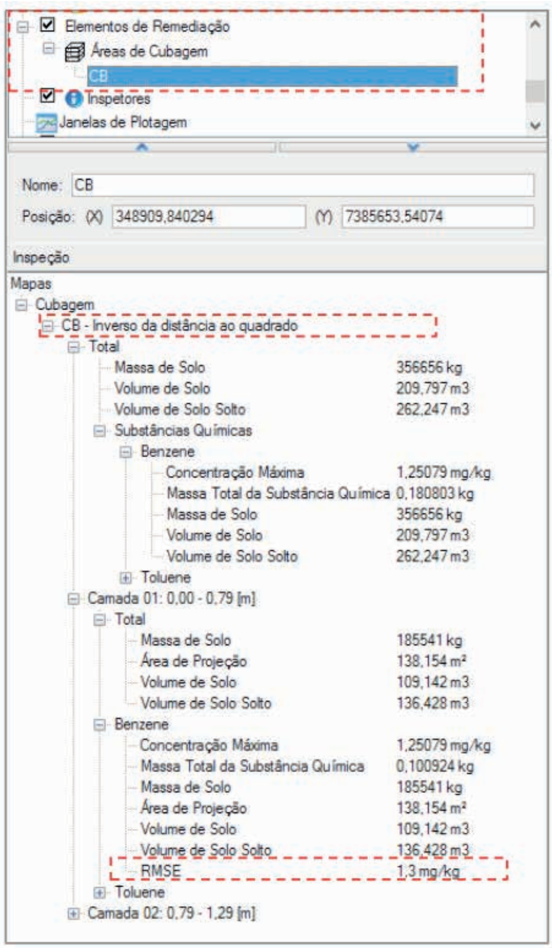


Figura 2.167 Elementos de Remediação.

Para cada substância química considerada na cubagem, o SCBR faz uma análise estatística (*quartis*) relacionada à concentração máxima. As informações estão disponíveis após clicar sobre o item "*Concentração Máxima*", em qualquer substância química (Figura 2.168).

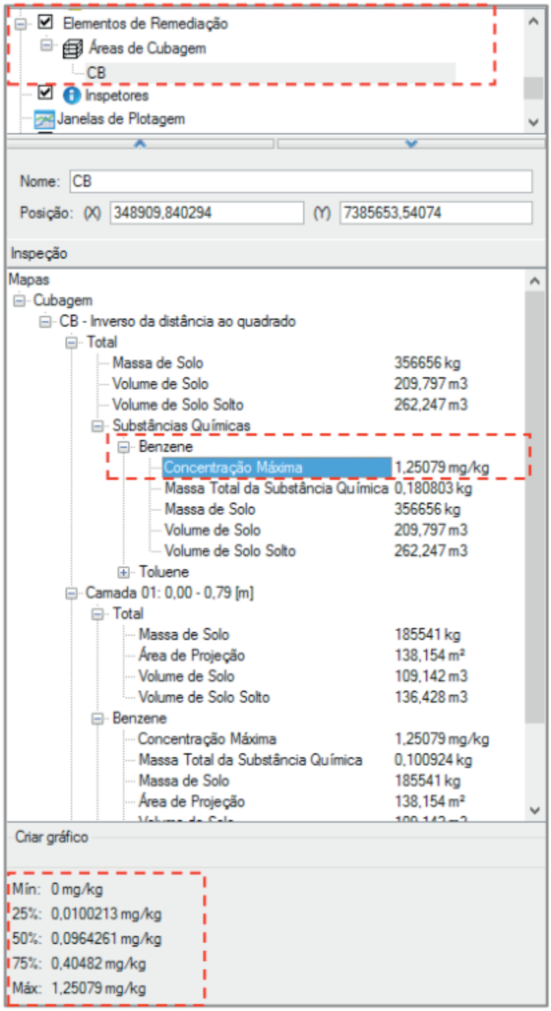


Figura 2.168 Análise estatística *(quartis)*

Inspetores: permite criar inspetores (ponto, polilinha ou área) a fim de se obter informações (exibidas no *Painel de Edição*) sobre os resultados das simulações em pontos (volume de controle) ou regiões específicas do domínio de simulação. Existem três tipos de inspetores: *Inspetor de Ponto, Inspetor de Polilinha e Inspetor de Área*. Ao clicar na opção *Inspetores* no *Painel de Edição*, são apresentadas as três opções: *Criar inspetor de ponto, Criar inspetor de polilinha e Criar inspetor de área*.

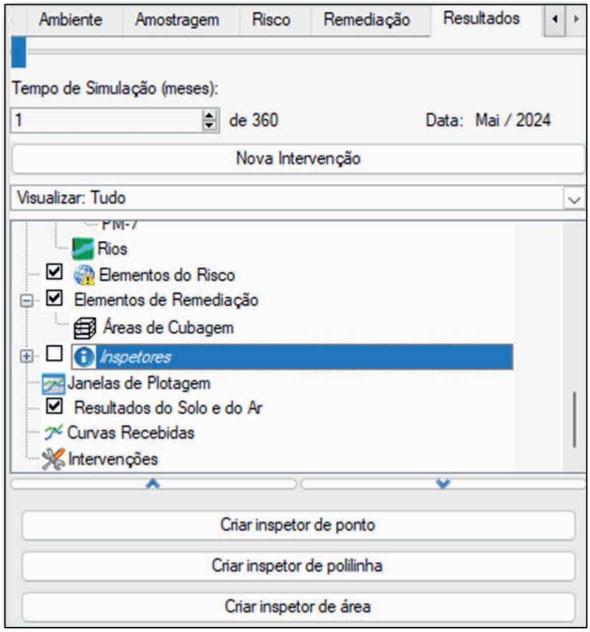
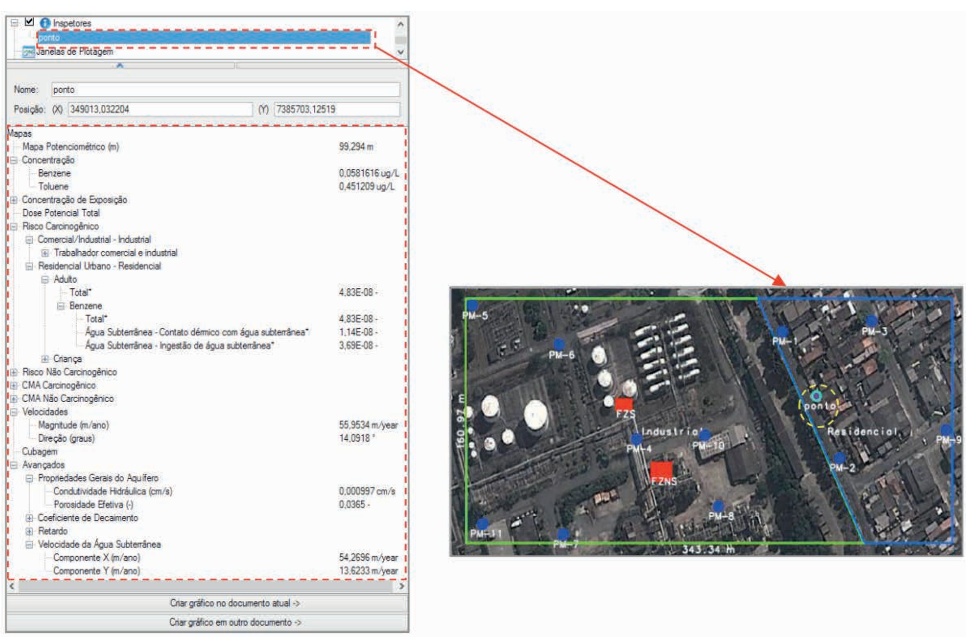


Figura 2.169 Opção Inspetores.

- *Inspetor de Ponto*: elemento que fornece informações sobre resultados de simulação de forma pontual (volume de controle). Os resultados podem ser visualizados na parte inferior, ou ainda, através de gráficos, conforme a Figura 2.170. O procedimento para geração de gráficos é o mesmo já orientado em itens anteriores (***Criar gráfico no documento atual*** → ***Nova Janela***).



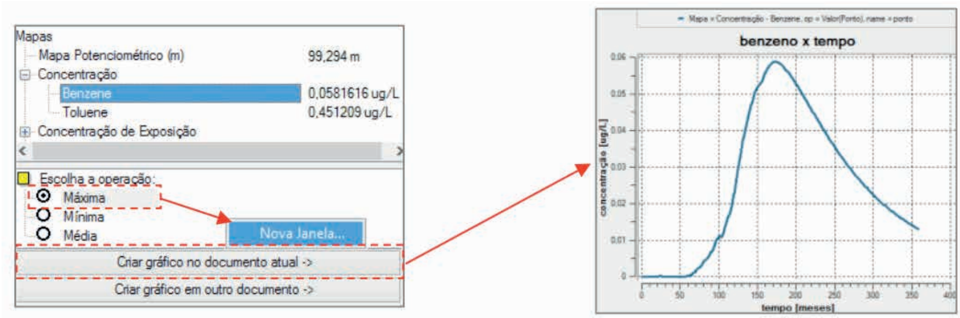


Figura 2.170 Mapas e Gráficos de Concentração de Benzeno no Inspetor de ponto.

Ainda, o *Inspetor de Ponto* disponibiliza ao usuário, linhas de trajetória de partícula para frente (*forward*) e para trás (*backward*), em relação ao sentido do fluxo de água subterrânea, após simulação do mapa potenciométrico. Ao clicar no ícone *Inspetor de Ponto*, a janela *Linha de Fluxo* é liberada no menu suspenso, em que são disponibilizadas as opções: *Para frente* e *Para trás*. Quando selecionada a do tipo *Para frente,* uma linha é traçada, apresentando a trajetória da partícula a partir do *inspetor de ponto*. E quando selecionada do tipo *Para trás*, a linha traçada tem como ponto final o próprio *inspetor de ponto*.

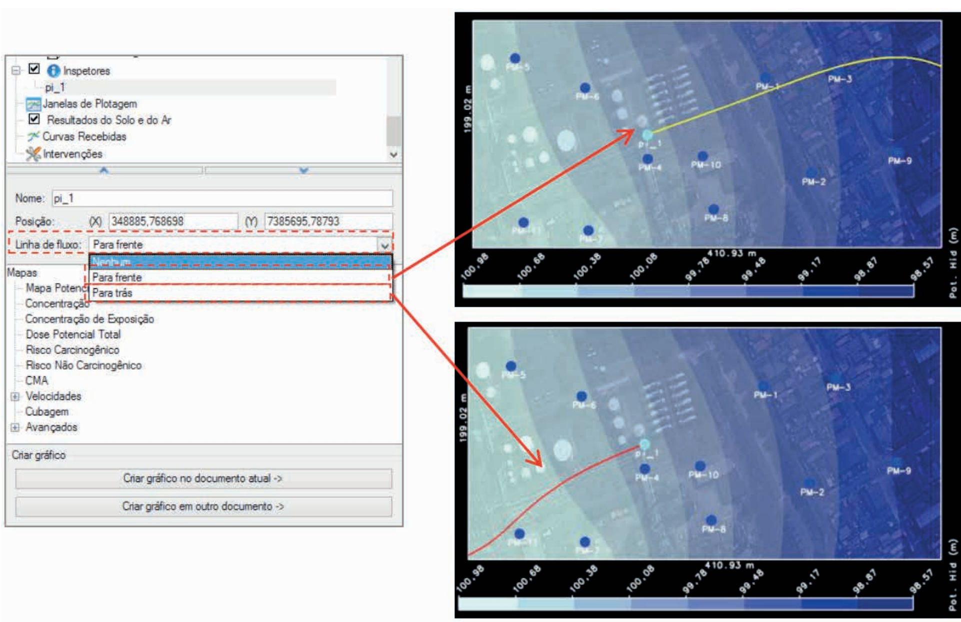


Figura 2.171 Inserção da Linha de Trajetória do Inspetor de Ponto.

OBS: as opções *Para frente* e *Para trás* são utilizadas com o intuito de se prever o destido e/ou a origem de um foco de contaminação onde foi posicionado o inspetor de ponto.

- *Inspetor de Polilinha*: apresenta informações ao longo de uma polilinha traçada, e permite gerar gráficos dos resultados de simulação em função da distância. Para os gráficos, o usuário pode escolher o tipo de resultado que deseja: valores em um determinado tempo de simulação selecionado (*Valor na Distância*), ou resultados considerando todo o tempo de simulação. Neste último caso, os resultados podem representar os valores máximos (*Máxima*), mínimos (*Mínima*) ou médios (*Média*) calculados ao longo da polilinha.

A Figura 2.172 ilustra uma polilinha desenhada sob uma pluma de benzeno em fase dissolvida, e o gráfico das concentrações de benzeno (*Valor na Distância*) na água subterrânea no tempo de simulação de 180 meses.

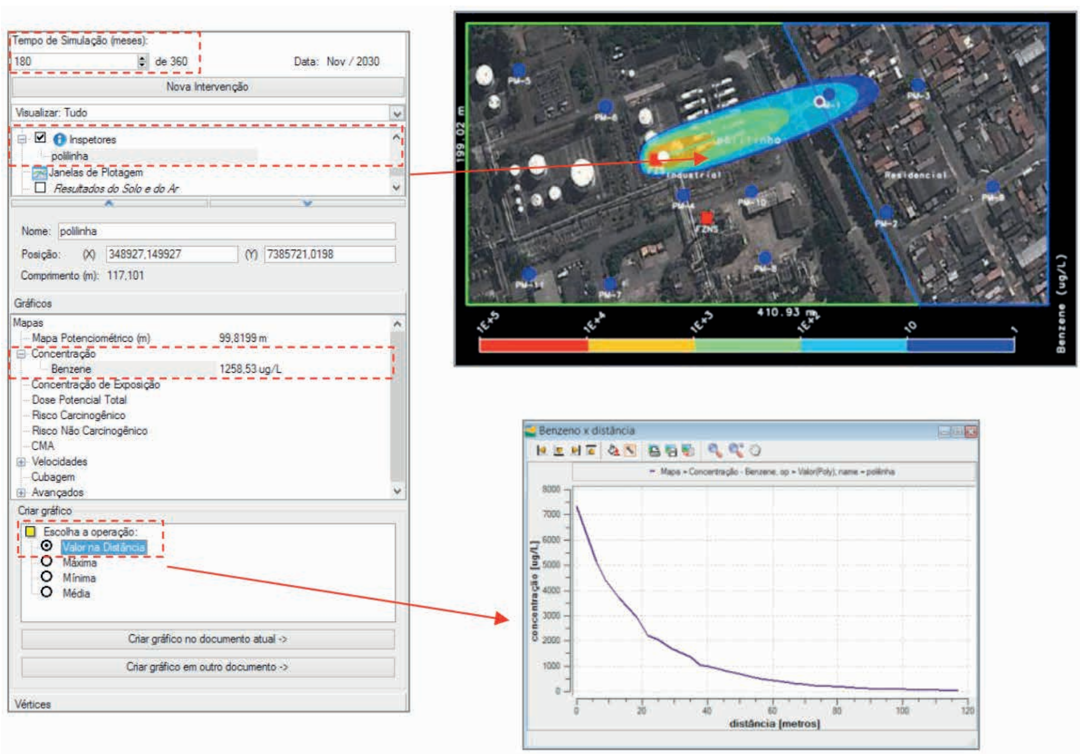


Figura 2.172 Mapa e Gráfico de Concentração de Benzeno do Inspetor de Polilinha.

- *Inspetor de Área*: apresenta informações e resultados de simulação de uma área delimitada no domínio de simulação ao longo do tempo, e assim como os outros tipos de inspetores, permite também a geração de gráficos a partir de valores em um determinado tempo de simulação (***Valor na Distância***), máximos (***Máxima***), mínimos (***Mínima***) ou médios (***Média***) em toda a área.

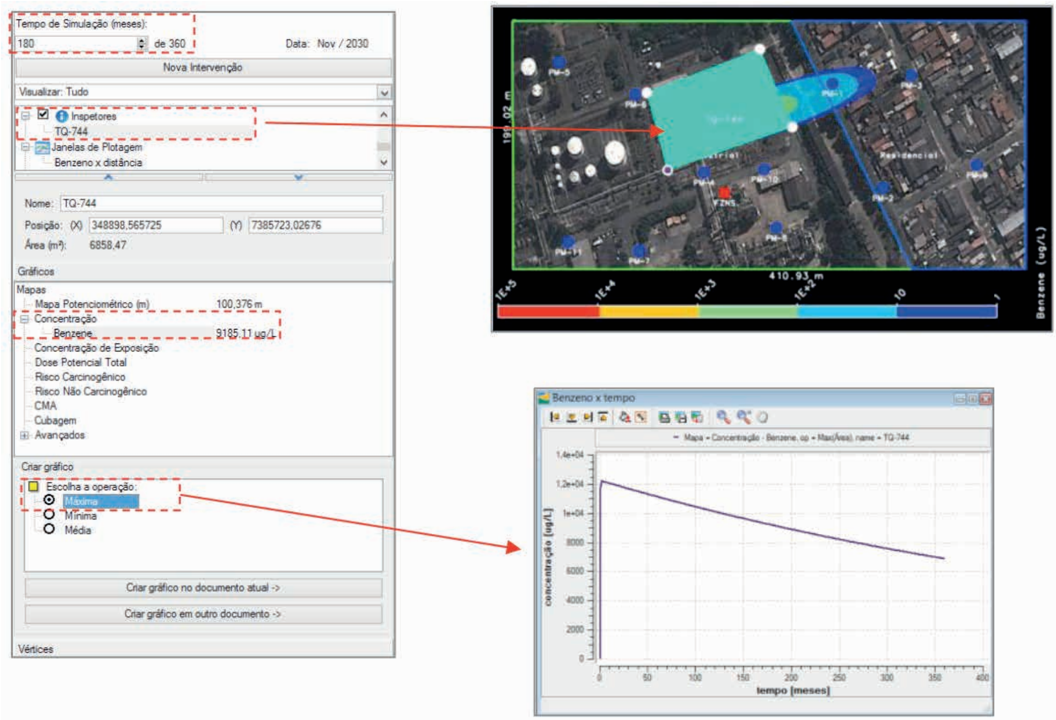


Figura 2.173 Mapa e Gráfico de Concentração de Benzeno do Inspetor de Área.

Janelas de Plotagem**:** a opção *Janelas de Plotagem* agrupa e permite editar os gráficos gerados pelo SCBR (Figura 2.174). Basicamente, existem dois conceitos a serem compreendidos: ***Janela de Plotagem*** e ***Curvas***. Uma *Janela de Plotagem* agrupa várias *Curvas*.

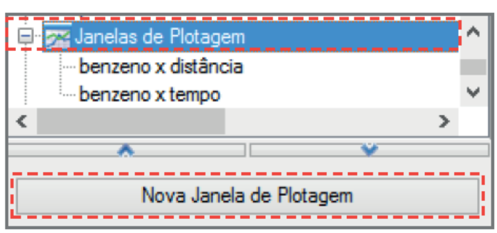


Figura 2.174 Opção Janelas de Plotagem.

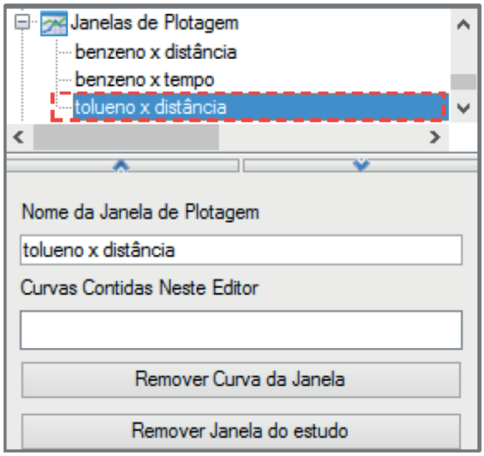


Figura 2.175 Exemplificação Nova Janela de Plotagem.

Ao clicar sobre o botão *Nova Janela de Plotagem*, uma nova janela (renomeada na figura ao lado como "tolueno x distância") é criada para plotar a curva a respeito de uma informação na qual se tenha interesse (Figura 2.175). Em seguida, seleciona-se (no módulo *Resultados*) a informação desejada em um dos elementos (*Ambiente, Risco, Remediação* ou *Inspetor*), como por exemplo, a concentração de tolueno no inspetor de linha (figura abaixo), e escolhe a janela recém-criada. A curva pode também ser plotada em uma janela que já contém uma curva, na figura acima, "benzeno x distância", por exemplo (Figura 2.176).

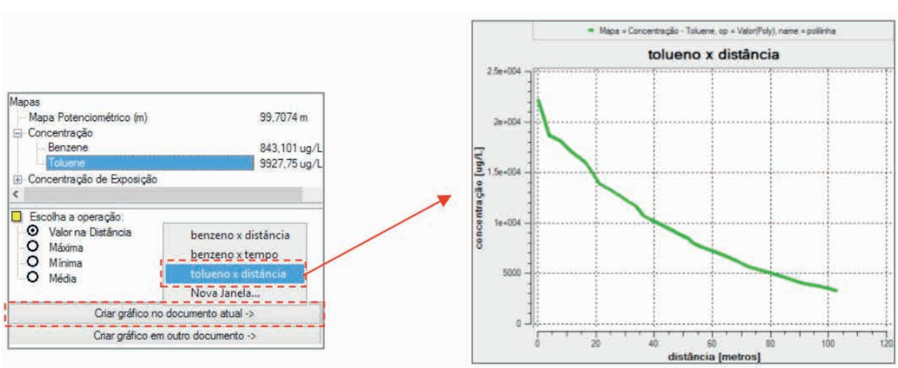


Figura 2.176 Exemplificação Gráfico de Concentração de Tolueno por Distância.

Outra maneira de criar janela é a partir da opção *"Nova Janela..."* após clicar sobre o botão *Criar gráfico no documento atual*.

No *Painel de Edição* são exibidos os nomes da janela e das curvas pertencentes a ela, e os botões *"Remove Curva da Janela"* e *"Remove Janela do estudo"*. O primeiro botão deleta uma curva do gráfico e o segundo, deleta a janela do *arquivo.scbr*.

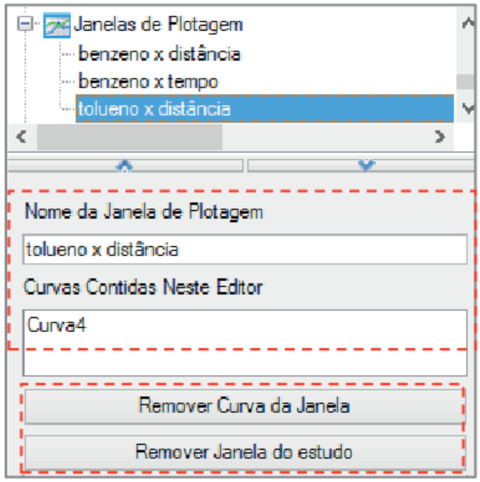


Figura 2.177 Painel de Edição da Janela de Plotagem.

<u>Janelas de Plotagem</u>: existe uma barra com as opções mostrada abaixo, que permite a customização dos gráficos:

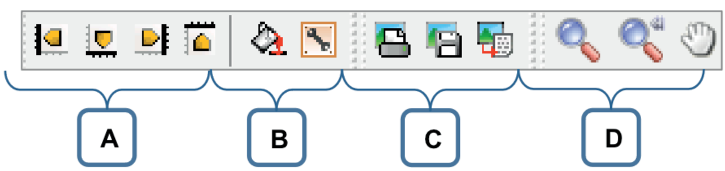


Figura 2.178 Barra de opções da Janela de Plotagem.

A ⇒ Eixo Esquerdo; Eixo Inferior; Eixo Direito; Eixo Superior.

B ⇒ Curvas; Configuração do Plot.

C ⇒ Imprimir; Captura de Tela; Exportar Curva.

D ⇒ Retângulo de Zoom; Zoom para nível anterior; Mover Plot.

- *<u>Eixo Esquerdo; Eixo Inferior; Eixo Direito; Eixo Superior</u>*: oferece as opções de exibir ou ocultar os eixos do gráfico.
- *<u>Curvas</u>*: permite o usuário configurar as propriedades das curvas no gráfico (Figura 2.179).

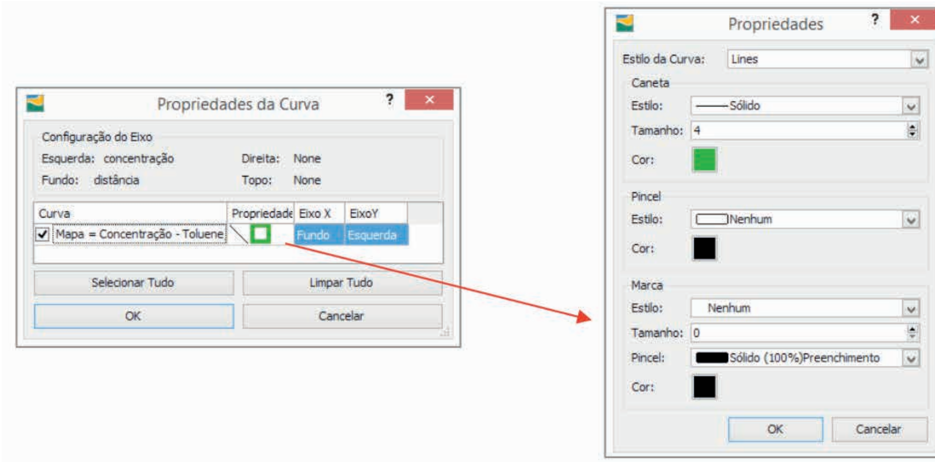


Figura 2.179 Caixa de edição das Propriedades da Curva.

- *Configuração do Plot:* nesta opção é possível caracterizar a área de plotagem, escolher o local da legenda e configurar os eixos (Figura 2.180).

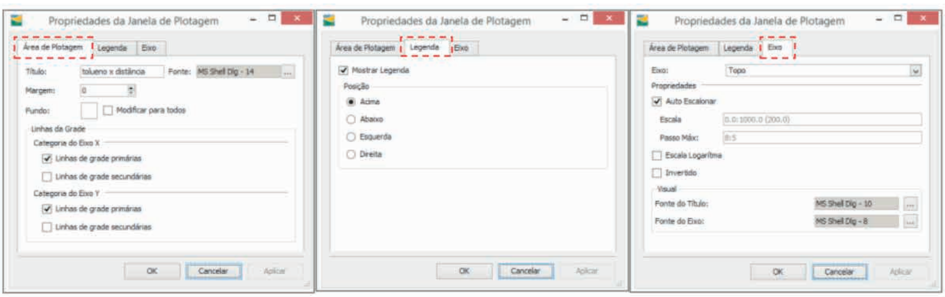


Figura 2.180 Configuração do *Plot*.

- *Imprimir:* imprime a janela de plotagem.
- *Captura de Tela:* salva a imagem da janela de plotagem nas extensões de imagem *.png*, *.bmp* ou *.jpg*.
- *Exportar Curva*: exporta os resultados da curva selecionada em extensão de arquivo *.csv* (Figura 2.181).

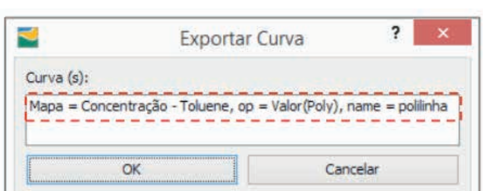


Figura 2.181 Comando Exportar Curva.

- *Retângulo de Zoom*: aumenta a visualização da área retangular selecionada na área de plotagem;
- *Zoom para nível anterior:* retorna à visualização da área de plotagem para o nível (de zoom) anterior;
- *Mover plot:* ferramenta que permite mover a área de plotagem.

Resultados do Solo e do Ar: esta opção fornece os resultados do solo e do ar após simulação da *Mídia não-saturada* (volatilização e lixiviação). Uma janela com 3 (três) abas aparece ao usuário, exibindo os seguintes resultados:

- *Resultados do Solo*: é possível visualizar a variação das concentrações das substâncias químicas ao longo do tempo decorrentes da lixiviação, abaixo da fonte de contaminação (zona não saturada) até o nível do lençol freático. Na Figura 2.182 o eixo x (superior) do gráfico representa as concentrações simuladas das substâncias, e o eixo y (lado esquerdo), a profundidade de lixiviação. Colocando-se o mouse sobre qualquer ponto da curva são indicados a profundidade e a concentração.

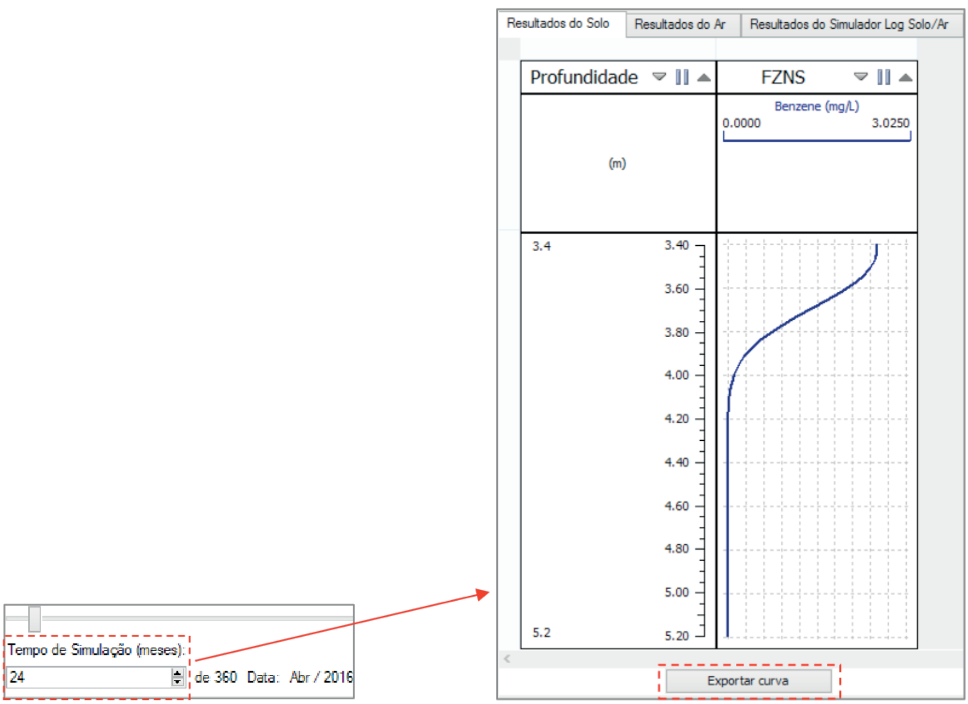


Figura 2.182 Exemplificação Resultados do Solo.

Exportar Curva: é possível gerar a curva de lixiviação do(s) contaminante(s) analisado(s) a partir do botão "*Exportar Curva*". Uma janela será disponibilizada (Figura 2.183), onde o usuário escolherá o contaminante e a profundidade a partir da qual se deseja os resultados. O modelo simula a curva para o caminho de lixiviação que se inicia na base da fonte de contaminação (no exemplo, em 3,4 m) até o lençol freático (no exemplo, em 5,2 m). No caso de diversas fontes em profundidades diferentes, pode ser do interesse do

usuário avaliar os contaminantes para o mesmo intervalo de lixiviação. O usuário escolhe o contaminante e a profundidade. O intervalo de saída é escolhido no módulo Estudo. Ao clicar em “OK” após ter escolhido o contaminante e a profundidade, uma janela para salvar o arquivo ficará disponível para o usuário colocar o nome do arquivo no formato *cvs*.

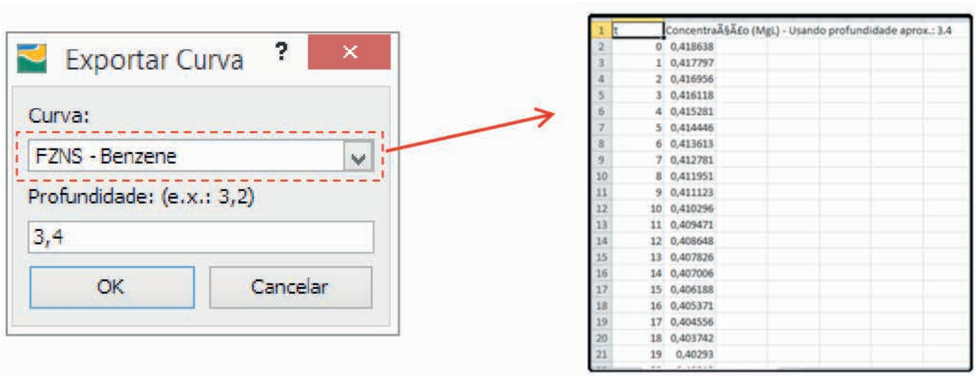


Figura 2.183 Exemplificação do comando Exportar Curva.

- *Resultados do Ar:* gráfico com as concentrações das substâncias químicas no ar ao longo do tempo resultante do processo de volatilização, calculadas pelo modelo de caixa (*Box Model*) (Figura 2.184).

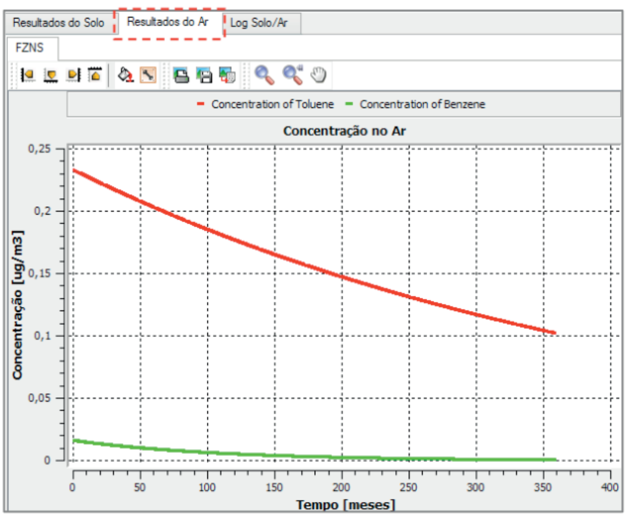


Figura 2.184 Exemplificação Resultados do ar.

- *Log Solo/Ar*: contém os parâmetros hidrogeológicos utilizados como dado de entrada no SCBR, parâmetros físico-químicos das substâncias; variáveis envolvidas nos processos de lixiviação e volatilização, e resultados calculados pelo modelo (Figura 2.185). As informações são descritas para cada camada do modelo conceitual da zona não saturada definida pelo usuário (para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

Ainda são informados o tempo (*Timestep*) e a concentração em que o contaminante chega à zona saturada, ou seja, atinge o lençol freático.

Resultados do Solo | Resultados do Ar | Log Solo/Ar

```
<---------------------------------- Simulator Log ------------------------------

<-------------------- Solving Source in Unsaturated Zone --------------------->
 Infiltration Rate:                      41                            [cm/year]
 Source Area:                            180                              [m²]
 Source Height:                          1.9                               [m]
Layers:
  Layer 0 (above source):
    Height:                              1.5                               [m]
    Soil: "default-FZNS"
      Total Porosity:                    0.25              [cm³ pore / cm³ soil]
      Irreducible Content of Water:      0.12             [cm³ water / cm³ soil]
      Hydraulic Conductivity:            0.321408                      [m/day]
      Van Genutchen's N:                 1.5                               [-]
      Organic Carbon Fraction:           0.008                [g o.c. / g soil]
      Dry Soil Density:                  1.7                           [g/cm³]
    Relative Permeability:               0.0034925                         [-]
    Pore Size Distribution:              7.57143                           [-]
    Porosity Filled with Water:          0.181582          [cm³ pore / cm³ soil]
    Interstitial Velocity:               0.618189                     [cm/day]
  Layer 1 (below source):
    Height:                              1.8                               [m]
    Soil: "default-FZNS"
      (same as layer 0)
    Relative Permeability:               0.0034925                         [-]
    Pore Size Distribution:              7.57143                           [-]
    Porosity Filled with Water:          0.181582          [cm³ pore / cm³ soil]
    Interstitial Velocity:               0.618189                     [cm/day]
  Length of Leaching Path:               1.8                               [m]
  Longitudinal Dispersivity:             6.76813                          [cm]
  Dispersion Coefficient:                4.18399                     [cm²/day]
  Length of Air Diffusion Path:          2.45                              [m]
Product:
  TPH Mass Fraction (conc.):             3000               [mg TPH / kg soil]
  TPH Molecular Weight:                  100                           [g/mol]
  Moles of Hydrocarbon (TPH):            17442                           [mol]
  Component 0 ("Toluene"):
    Mass:                                58.14                            [kg]
    Moles:                               630.996                         [mol]
    Molar Fraction:                      0.0361768                   [mol/mol]
    Eff. Diffusion for Layer 0:          14.248                      [cm²/day]
    Effective Air Diffusion:             14.248                      [cm²/day]
    Distribution Coefficient (Kd):       1.8712          [mg/kg soil / mg/L H2O]
   Residual phase is present for Toluene:
    Aqueous Phase Concentration:         19.029                         [mg/L]
    Leaching Rate:                       6.61314e-005                  [1/day]
    Volatilization Rate:                 9.30065e-006                  [1/day]
    Total Loss Rate:                     7.5432e-005                   [1/day]
    Retardation:                         18.5185                           [-]
   Solving Vapor Flux in Unsaturated Zone:
    Initial Vapor Flux (Steady Model:    3.47698e-012                 [g/cm²/s]
    Initial Vapor Flux (Steady Model:    3.00411                    [mg/m²/day]

  Component 1 ("Benzene"):
    Mass:                                1.04652                          [kg]
    Moles:                               13.398                          [mol]
    Molar Fraction:                      0.000768147                 [mol/mol]
    Eff. Diffusion for Layer 0:          16.4265                     [cm²/day]
    Effective Air Diffusion:             16.4265                     [cm²/day]
    Distribution Coefficient (Kd):       1.1664          [mg/kg soil / mg/L H2O]
   Residual phase is present for Benzene:
    Aqueous Phase Concentration:         1.37498                        [mg/L]
    Leaching Rate:                       0.00026547                    [1/day]
    Volatilization Rate:                 3.59781e-005                  [1/day]
    Total Loss Rate:                     0.000301449                   [1/day]
    Retardation:                         11.92                             [-]
   Solving Vapor Flux in Unsaturated Zone:
    Initial Vapor Flux (Steady Model:    2.42102e-013                 [g/cm²/s]
    Initial Vapor Flux (Steady Model:    0.209176                   [mg/m²/day]

<-------------------- Time when each component reach the aquifer ------------->
Component name                           Timestep      Concentration
Toluene:                                   63          1.15 ug/L
Benzene:                                   48          1.09 ug/L
```

Figura 2.185 Exemplificação resultados Log Solo/Ar.

Curvas Recebidas: esta opção lista as curvas que foram recebidas de outro *arquivo.scbr*, e que esteja aberto concomitantemente ao arquivo corrente.

Na Figura 2.186, observa-se que a curva ("Curva6"), de um determinado arquivo, foi recebida e adicionada à janela de plotagem "benzeno x tempo", do arquivo vigente.

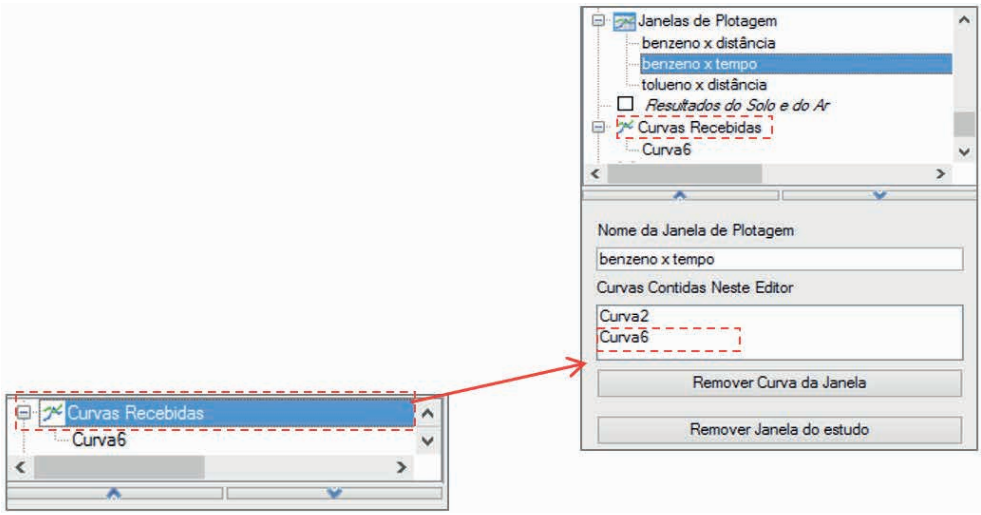


Figura 2.186 Opção Curvas Recebidas.

Intervenções: selecionando-se a opção *Intervenções* no painel de navegação, pode-se verificar a quantidade de intervenções, a data (mês/ano) e o respectivo passo temporal em que ocorreram as intervenções no *arquivo.scbr.*

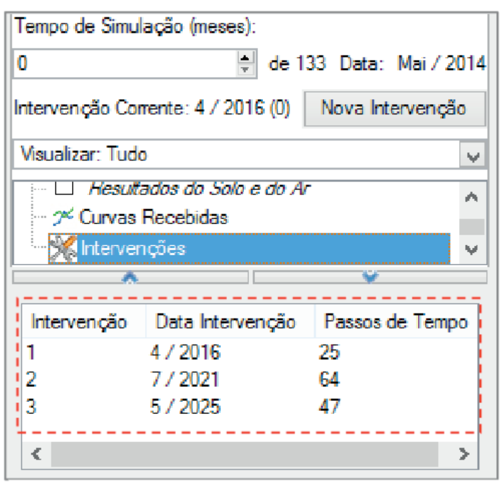
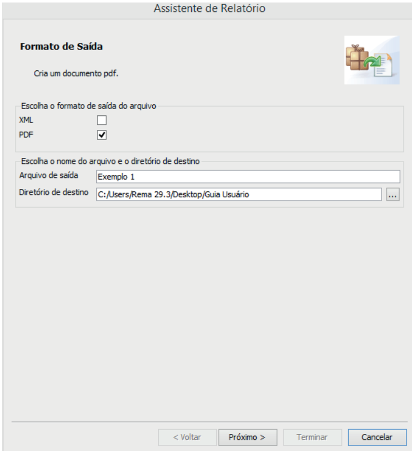


Figura 2.187 Opção Intervenções.

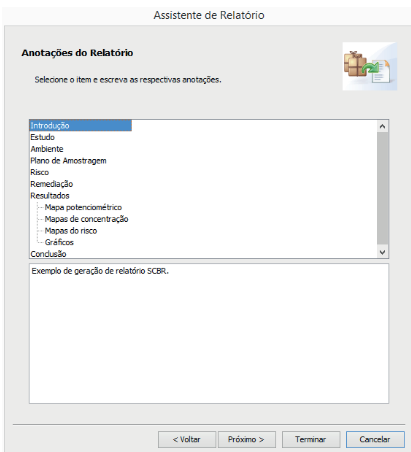
Assistente de Relatório: o *Assistente de Relatório* ( ), presente na *Barra de Ferramentas,* permite ao usuário gerar um relatório com todos os dados de entrada e resultados das simulações realizadas. Disponível em dois tipos de formatos, *.pdf* e *.xml*, sua estruturação segue a sequência dos módulos no SCBR. Através de uma sequência de janelas, o usuário seleciona as informações que irão compor o relatório, tais como:

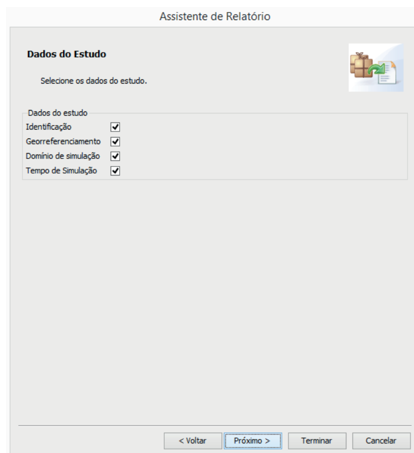
- *Formato de Saída*: escolhe o formato, nome e pasta do arquivo a ser gerado;
- *Configura Páginas do Relatório*: para cabeçalho (opcional) e título do relatório;
- *Anotações do Relatório*: anotações para cada elemento disponível;
- *Dados de Estudo*: informações referentes à identificação, georreferenciamento, domínio e tempo de simulação;
- *Dados do Ambiente*: referente à caracterização dos elementos do ambiente;
- *Dados do Plano de Amostragem*: mapas e áreas de amostragem;
- *Dados do Risco*: dados de entrada e resultados do risco à saúde humana e das concentrações máximas aceitáveis (CMA);
- *Dados da Remediação*: dados de entrada e caracterização dos elementos de remediação;
- *Dados do Resultado*: resultados e mapas da simulação do fluxo, cubagem e gráficos gerados;
- *Dados dos Inspetores*: caracterização e resultados obtidos nos inspetores (ponto, polilinha e área) presentes no domínio de simulação.

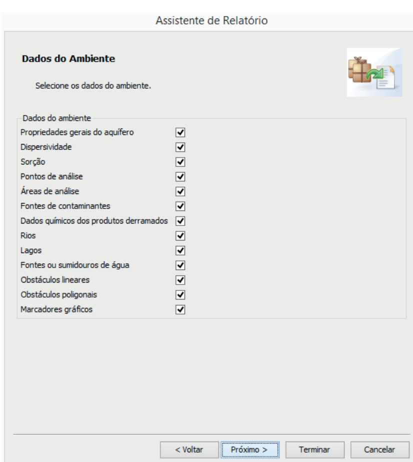
Na Figura 2.188 são apresentadas na sequência, as figuras ilustrativas das janelas que se apresentam ao usuário para a geração do relatório.

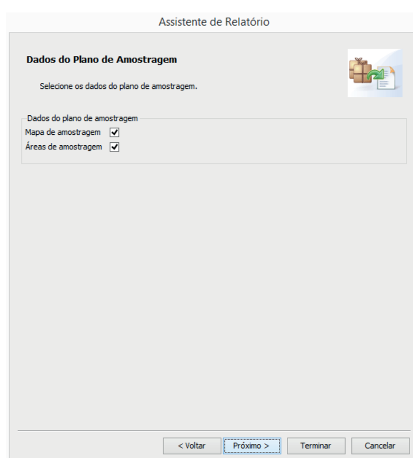

Assistente de Relatório
Formato de Saída
Cria um documento pdf.
Escolha o formato de saída do arquivo
XML
PDF
Escolha o nome do arquivo e o diretório de destino
Arquivo de saída
Exemplo 1
Diretório de destino
C:/Users/Rema 29.3/Desktop/Guia Usuário
< Voltar
Próximo >
Terminar
Cancelar


Assistente de Relatório
Configura Páginas do Relatório
Configure o título do relatório e o cabeçalho para todas as páginas do relatório.
Configuração do cabeçalho
Linha 1
Linha 2
PETROBRAS/UFSC
Linha 3
08 de setembro de 2019
Imagem do cabeçalho
Configuração da primeira página
Título do relatório
Exemplo 1
< Voltar
Próximo >
Terminar
Cancelar


Assistente de Relatório
Anotações do Relatório
Selecione o item e escreva as respectivas anotações.
Introdução
Estudo
Ambiente
Plano de Amostragem
Risco
Remediação
Resultados
Mapa potenciométrico
Mapas de concentração
Mapas do risco
Gráficos
Conclusão
Exemplo de geração de relatório SCBR.
< Voltar
Próximo >
Terminar
Cancelar


Assistente de Relatório
Dados do Estudo
Selecione os dados do estudo.
Dados do estudo
Identificação
Georreferenciamento
Domínio de simulação
Tempo de Simulação
< Voltar
Próximo >
Terminar
Cancelar


Assistente de Relatório
Dados do Ambiente
Selecione os dados do ambiente.
Dados do ambiente
Propriedades gerais do aquífero
Dispersividade
Sorção
Pontos de análise
Áreas de análise
Fontes de contaminantes
Dados químicos dos produtos derramados
Rios
Lagos
Fontes ou sumidouros de água
Obstáculos lineares
Obstáculos poligonais
Marcadores gráficos
< Voltar
Próximo >
Terminar
Cancelar


Assistente de Relatório
Dados do Plano de Amostragem
Selecione os dados do plano de amostragem.
Dados do plano de amostragem
Mapa de amostragem
Áreas de amostragem
< Voltar
Próximo >
Terminar
Cancelar

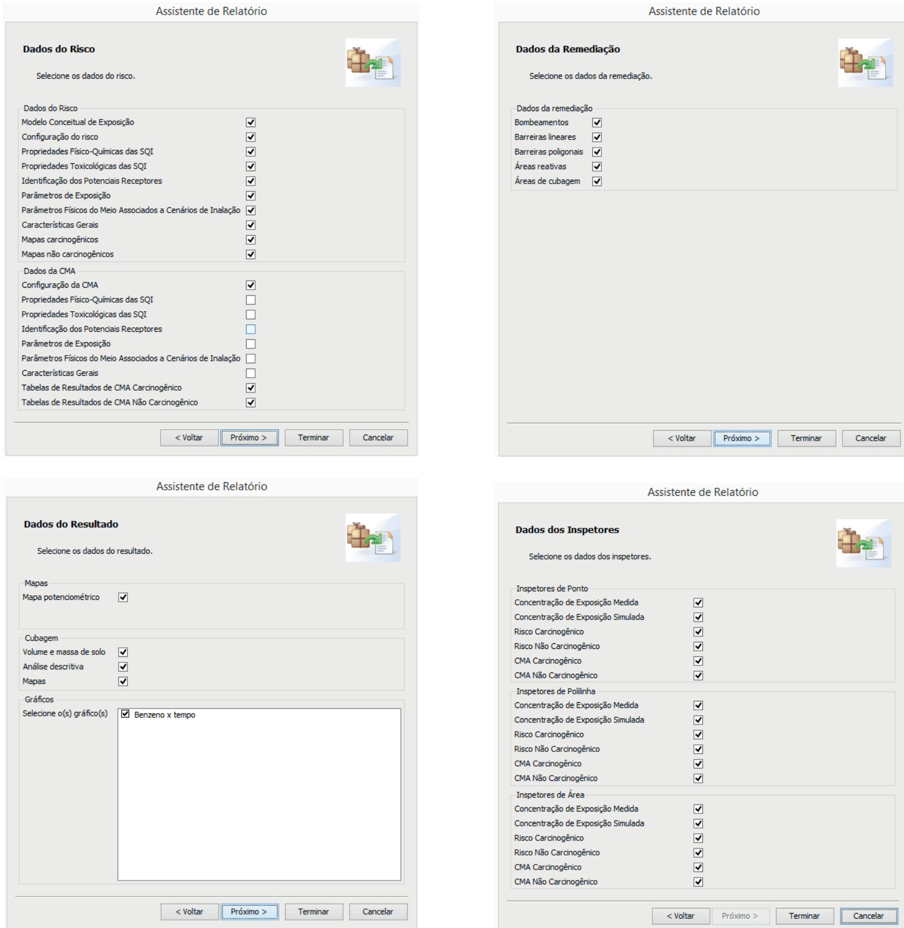


Figura 2.188 Janelas para geração de relatório no SCBR.

3. EXERCÍCIOS

A seguir será apresentado exemplos da utilização do SCBR na simulação do fluxo, transporte de contaminantes, cálculo do risco e possíveis formas de remediação. As informações e condições elaboradas nos exercícios são fictícias, e assim, não representam condições reais de contaminação.

3.1. Iniciando um novo arquivo no SCBR

Inicialmente, para realizar uma simulação no SCBR é necessário criar um arquivo, conforme descrito a seguir:

a) Selecione a opção ***Novo*** na barra de menus ou por meio do menu ***Arquivo*** ou ainda por meio do atalho ***"Ctrl + N".***

b) Escolha a opção ***Documento SCBR.***

c) Os exemplos abordados neste item podem ser verificados por meio do item ***Ajuda,*** na barra de ferramentas.

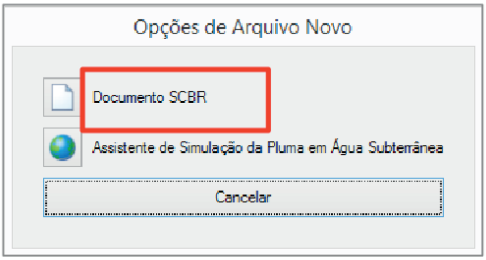


Figura 3.1 Criar um arquivo no SCBR.

3.2. Georreferenciamento

A opção ***Georreferenciamento*** no módulo ***Estudo*** permite utilizar uma imagem de fundo (por exemplo: foto aérea ou planta) para a simulação. Esta opção permite georreferenciar uma imagem de fundo (*.bmp* ou *.jpg*), auxiliando assim, na construção do cenário da simulação e na interpretação dos resultados.

a) No módulo ***Estudo***, selecione a opção ***Georreferenciamento*** (Figura 3.2).

b) Clique no botão ***Mudar***, a partir de qual será aberta a janela "*Assistente de* Georreferenciamento" (Figura 3.3).

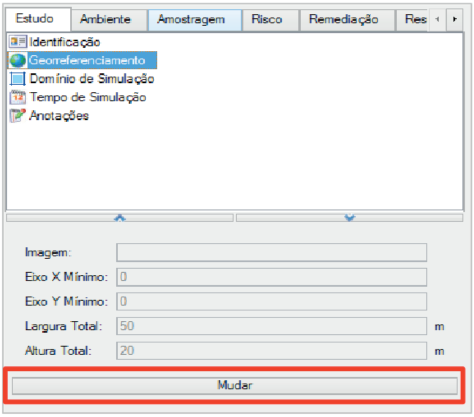


Figura 3.2 Módulo _Estudo_ no SCBR para o georreferenciamento.

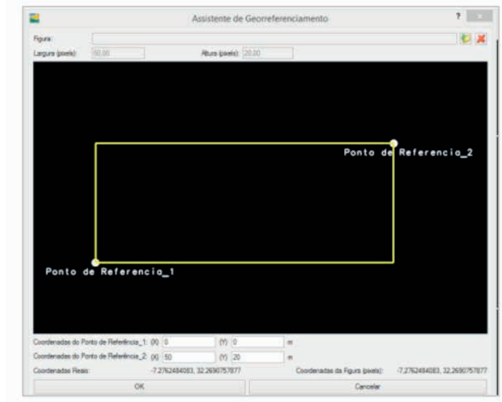


Figura 3.3 Assistente de Georreferenciamento.

c) Na janela de Assistente de Georreferenciamento, clique no ícone para carregar o arquivo ( ) e selecione a imagem de fundo (no caso, o arquivo "*georr_refinaria.jpg*").

d) Posicione os pontos de referência nos locais indicados com as setas vermelhas (Figura 3.4) onde as coordenadas são conhecidas. As caixas de texto, na parte inferior da janela do ***Assistente de Georreferenciamento***, devem ser utilizadas para poder informar ao SCBR as coordenadas dos pontos de referência. Para este exemplo, o ***Ponto de Referência 1*** deverá conter as coordenadas (x) 348778,55; (y) 7385614,32 e o ***Ponto de Referência 2*** as coordenadas (x) 349120,34; (y) 7385772,82.

e) Após o carregamento e georreferenciamento da imagem, o Domínio de Simulação é automaticamente definido de acordo com os vértices da figura (Figura 3.5).

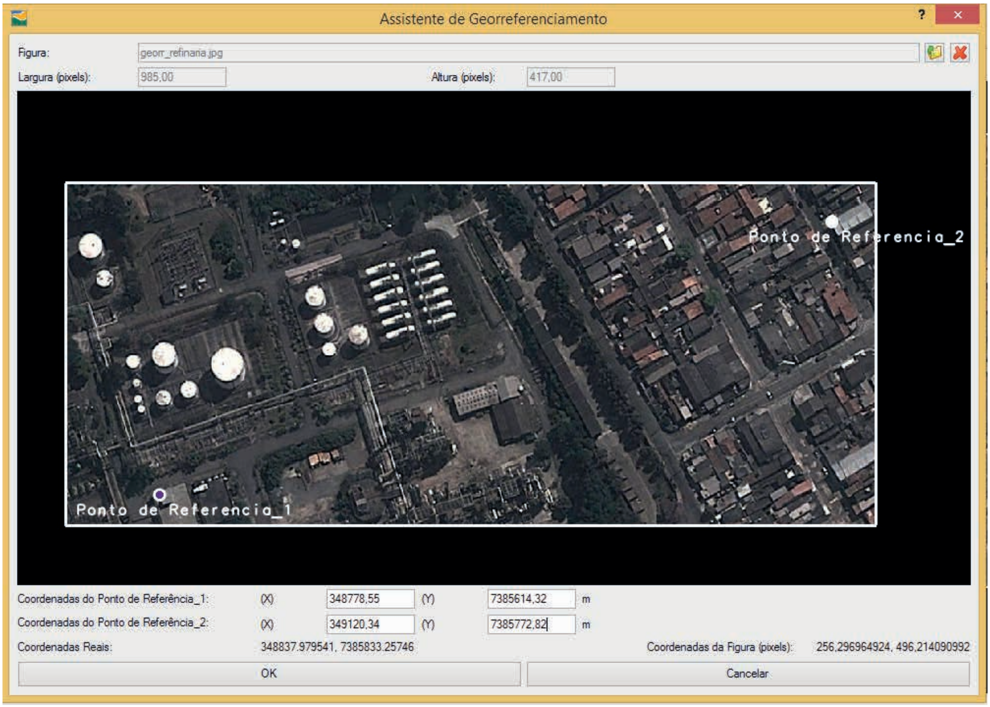


Figura 3.4 Pontos de referência na imagem para o georreferenciamento.



Figura 3.5 Imagem após o georreferenciamento no SCBR.

3.3 Amostragem

O módulo ***Amostragem*** (Figura 3.6) tem como objetivo assegurar a obtenção de informações confiáveis a respeito da existência, concentração e distribuição de determinadas substâncias, na área investigada, de acordo com o objetivo da fase de investigação.

Para o exemplo em questão, será utilizada a *Amostragem Direcionada*, ou seja, neste tipo de amostragem é o usuário que define a posição dos pontos de amostragem dentro da área que deve ser delimitada.

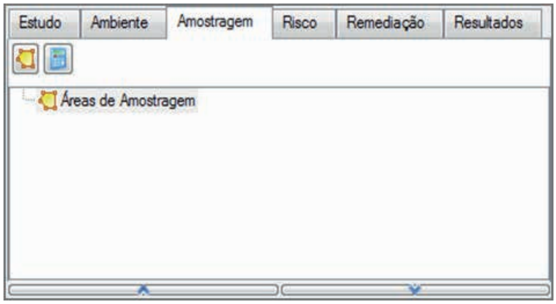


Figura 3.6 Módulo Amostragem no SCBR.

Para a delimitação da área de interesse utiliza-se o ícone da área de amostragem () presente no painel de navegação. Neste exemplo a área de amostragem pode ser definida manualmente, escolhendo-se os vértices de modo que estes estejam em concordância com o Domínio de Simulação. Após a definição da área de amostragem, deverá ser inserido a caracterização do plano de amostragem como apresentado na Figura 3.7. O *Meio Avaliado* deve estar selecionado para *Água* e em seguida na caixa *Esquema de Distribuição* deve-se escolher a amostragem *Direcionada.* Para adicionar pontos de amostragem existem duas possibilidades *Adicionar Ponto de Amostragem*, direcionando manualmente os pontos nas posições desejadas, ou *Editar Pontos de Amostragem,* adicionando os pontos e coordenadas através da tabela. Caso o usuário necessite realizar alguma alteração em algum ponto deve-se também clicar em *Editar Pontos de Amostragem.*

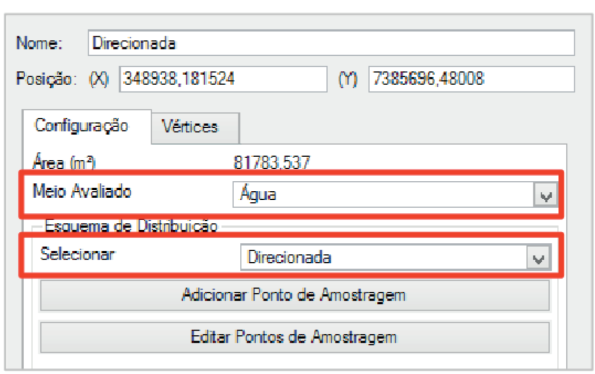


Figura 3.7 Definição dos Parâmetros de Amostragem.

Neste exemplo, para adicionar os pontos de amostragem, o usuário deve clicar em *Editar Pontos de Amostragem* e adicionar as coordenadas e pontos da tabela abaixo. As

colunas correspondentes a _Profundidades em Relação ao Nível do Terreno_ e _Compostos Químicos_ devem ficar vazias (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Coordenadas dos Pontos de Amostragem.

Nome	*Posição x (m)*	*Posição y (m)*	*Profundidades em Relação ao Nível do Terreno (m)*	*Compostos Químicos*
PM_1	348988,9866	7385745,6995	-	-
PM_10	348934,2617	7385676,9496	-	-
PM_11	348777,2679	7385618,6630	-	-
PM_2	349029,4115	7385662,0997	-	-
PM_3	349052,2365	7385752,2995	-	-
PM_4	348886,0067	7385674,5020	-	-
PM_5	348769,8970	7385762,9210	-	-
PM_6	348831,2002	7385736,9602	-	-
PM_7	348834,1289	7385611,6430	-	-
PM_8	348943,8867	7385630,1997	-	-
PM_9	349104,7614	7385680,5246	-	-



Figura 3.8 Amostragem direcionada no SCBR.

3.4 Simulação do Fluxo da Água Subterrânea

Para a simulação do fluxo da água subterrânea é utilizado o módulo ***Ambiente***. Neste módulo estão presentes os itens necessários para informar as características hidrogeológicas e geoquímicas do modelo conceitual da área de interesse, por meio dos *Pontos de Análise, Fontes de Contaminação, Rios, Lagos e Obstáculos* presentes na área

de interesse. A seguir são apresentadas as principais funções do módulo e como elas serão utilizadas neste exemplo:

- *Propriedades Gerais do Aquífero:* Nesta seção são inseridas as informações da porosidade efetiva e condutividade hidráulica representativas da área de interesse. Neste exemplo será considerado que a área apresenta características homogêneas para a porosidade efetiva e a condutividade hidráulica (Figura 3.9).

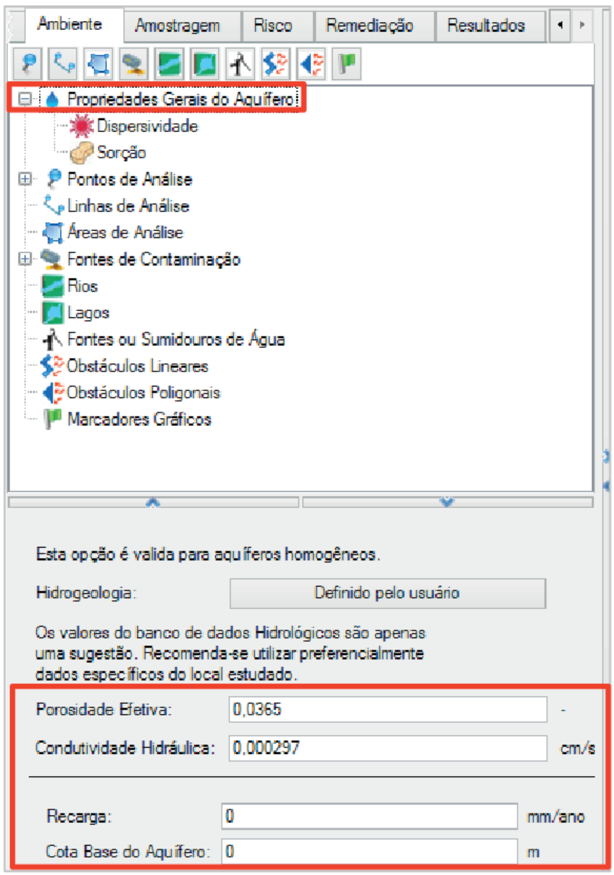


Figura 3.9 Determinando as propriedades gerais do aquífero por meio do módulo ***Ambiente***.

- *Dispersividade e Sorção*: Esta seção aborda as características físicas e químicas do transporte de contaminantes (Figura 3.10). Para este exemplo, essas informações não serão alteradas, permanecendo conforme configuração *default* do programa.

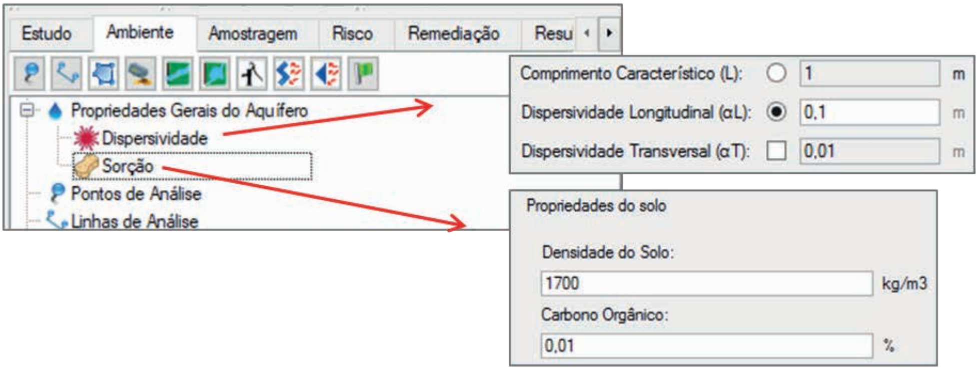


Figura 3.10 Características física e químicas do aquífero, no módulo ***Ambiente***.

- *Pontos de Análise:* São utilizados para inserir informações pontuais (carga hidráulica, condutividade hidráulica, porosidade efetiva, densidade do solo e teor carbono orgânico) sobre uma determinada região da área de interesse, as quais podem ser obtidas, por exemplo, por meio dos poços de monitoramento. Para inserir essas informações, é possível optar por adicionar os pontos de análise individualmente, por meio do ícone ( ) no painel de navegação, ou por adicionar os pontos de análise em conjunto, através da opção *Pontos de análise* - *Editar Pontos de Análise* (Figura 3.11).

Neste momento adicionaremos somente as informações de *Carga Hidráulica*, através da função *Editar Pontos de Análise*, deixando valores nulos para as colunas de Porosidade Efetiva, Condutividade Hidráulica, Densidade do Solo e teor de Carbono Orgânico (Tabela 3.2 e Figura 3.11).

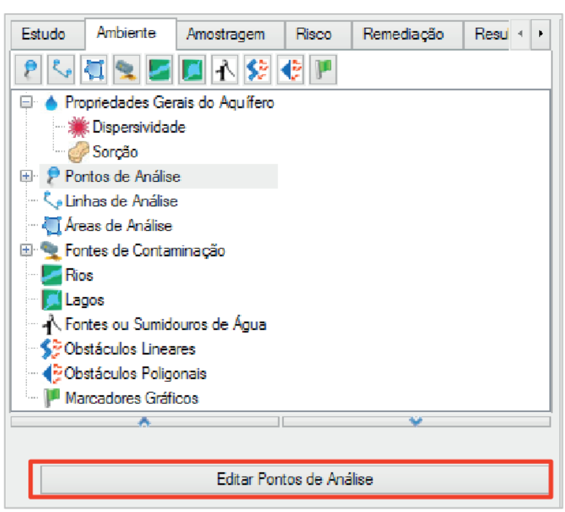
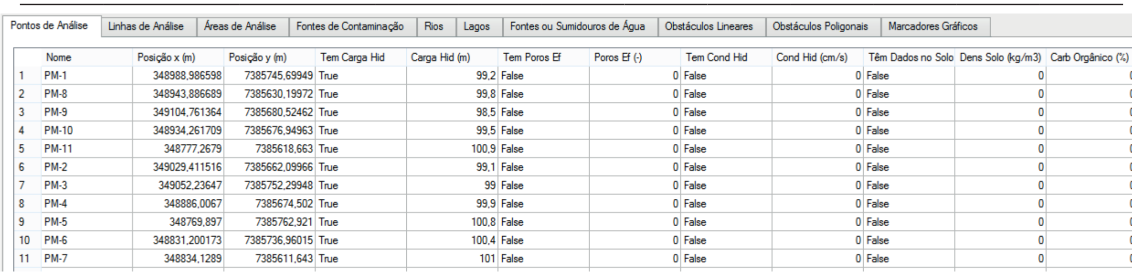


Figura 3.11 Ponto de análise no módulo ***Ambiente***.

Após o preenchimento da tabela, o usuário deve clicar em "*OK*" e o SCBR irá assimilar estes dados, mostrando a posição dos pontos na Área de Visualização sobre a imagem (Figura 3.12).

Tabela 3.2 Carga hidráulica nos poços de monitoramento.

Nome	*Posição x (m)*	*Posição y (m)*	*Tem carga Hid*	*Carga Hid (m)*	*Tem poros Ef (-)*	*Poros Ef (-)*	*Tem Cond Hid*	*Cond Hid (cm/s)*	*Tem Dados no Solo*	*Dens Solo (kg/m³)*	*Carb Orgânico (%)*
PM-1	348988,9866	7385745,699	True	99,2	False	0	False	0	False	0	0
PM-2	349029,4115	7385662,100	True	99,1	False	0	False	0	False	0	0
PM-3	349052,2365	7385752,299	True	99,0	False	0	False	0	False	0	0
PM-4	348886,0067	7385674,502	True	99,9	False	0	False	0	False	0	0
PM-5	348769,897	7385762,921	True	100,8	False	0	False	0	False	0	0
PM-6	348831,2002	7385736,960	True	100,4	False	0	False	0	False	0	0
PM-7	348834,1289	7385611,643	True	101,0	False	0	False	0	False	0	0
PM-8	348943,8867	7385630,200	True	99,8	False	0	False	0	False	0	0
PM-9	349104,7614	7385680,525	True	98,5	False	0	False	0	False	0	0
PM-10	348934,2617	7385676,950	True	99,5	False	0	False	0	False	0	0
PM-11	348777,2679	7385618,663	True	100,9	False	0	False	0	False	0	0



	Nome	Posição x (m)	Posição y (m)	Tem Carga Hid	Carga Hid (m)	Tem Poros Ef	Poros Ef (-)	Tem Cond Hid	Cond Hid (cm/s)	Têm Dados no Solo	Dens Solo (kg/m3)	Carb Orgânico (%)
1	PM-1	348988,986598	7385745,69949	True	99,2	False	0	False	0	False	0	0
2	PM-8	348943,886689	7385630,19972	True	99,8	False	0	False	0	False	0	0
3	PM-9	349104,761364	7385680,52462	True	98,5	False	0	False	0	False	0	0
4	PM-10	348934,261709	7385676,94963	True	99,5	False	0	False	0	False	0	0
5	PM-11	348777,2679	7385618,663	True	100,9	False	0	False	0	False	0	0
6	PM-2	349029,411516	7385662,09966	True	99,1	False	0	False	0	False	0	0
7	PM-3	349052,23647	7385752,29948	True	99	False	0	False	0	False	0	0
8	PM-4	348886,0067	7385674,502	True	99,9	False	0	False	0	False	0	0
9	PM-5	348769,897	7385762,921	True	100,8	False	0	False	0	False	0	0
10	PM-6	348831,200173	7385736,96015	True	100,4	False	0	False	0	False	0	0
11	PM-7	348834,1289	7385611,643	True	101	False	0	False	0	False	0	0

Figura 3.12 Informações dos pontos de análise inseridos no módulo ***Ambiente*** do SCBR.

- <u>*Velocidade da Água Subterrânea*</u>: Para simular a velocidade da água subterrânea e obter os mapas de Velocidade e Potenciométrico é necessário clicar no ícone no botão ***Simular Velocidades*** (), disponível na barra de ferramentas.

No módulo ***Resultados*** é disponibilizado todos os resultados da simulação da velocidade da água subterrânea, e das demais funcionalidade dos SCBR. Para a simulação da velocidade da água subterrânea são apresentados como resultado os mapas de velocidade, grade e potenciométrico.

- <u>*Mapa da Velocidade:*</u> Para ativar o mapa velocidade é necessário entrar no módulo resultados, como apresentado na Figura 3.13. O mapa velocidade apresentada os vetores velocidades em toda a área de interesse (Figura 3.14).

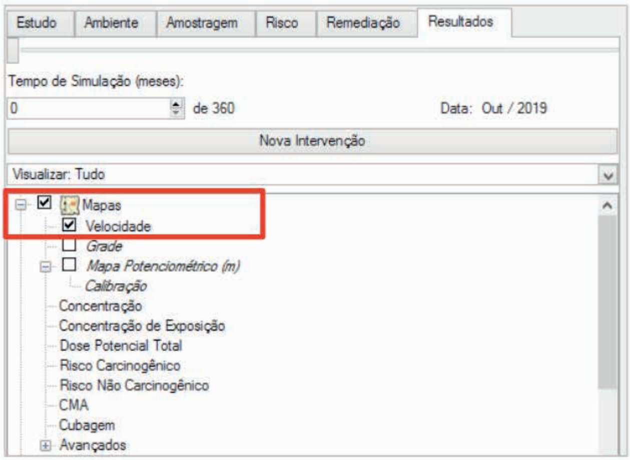


Figura 3.13 Localização do mapa de velocidades no módulo ***Resultados***.

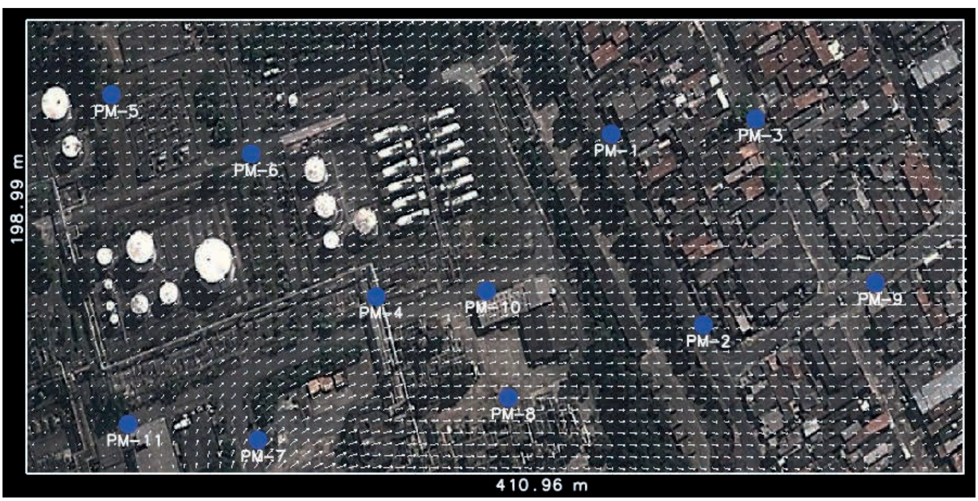


Figura 3.14 Mapa velocidade da água subterrânea gerada pelo SCBR.

- *Mapa de Grade:* O mapa de grade, localizado logo abaixo do mapa de velocidade, permite que seja visualizado o tamanho da grade de simulação definida pelo usuário, no ícone ().

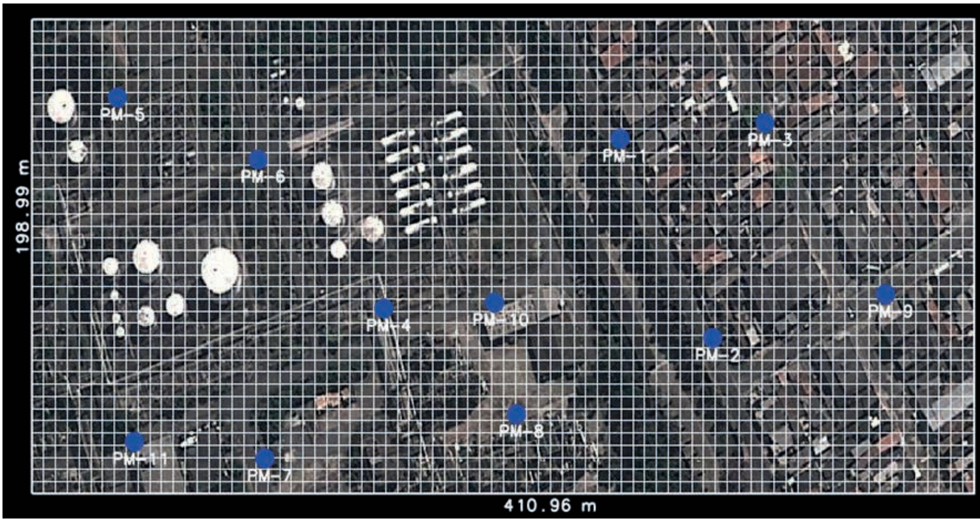


Figura 3.15 Mapa de grade de simulação utilizado no estudo de caso do SCBR.

- *Mapa Potenciométrico:* O mapa potenciométrico, localizado logo após o mapa de grade, permite visualizar a variação do potenciométrico ao logo da área de estudo (Figura 3.16).

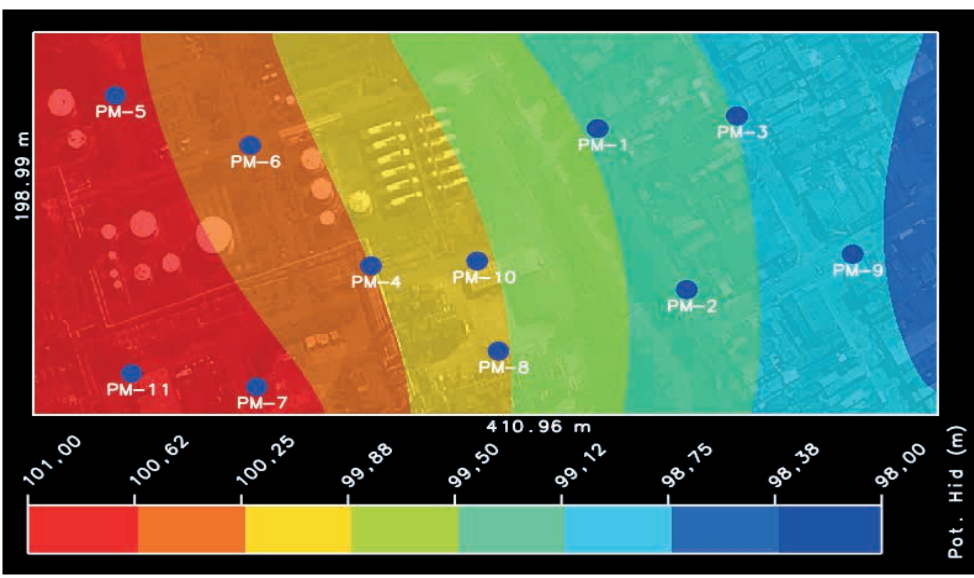


Figura 3.16 Mapa potenciométrico da área de estudo.

Após a simulação do mapa potenciométrico, é necessário analisar se o cenário de fluxo está calibrado, por meio do módulo ***Resultados***, onde logo abaixo do subitem *Mapa Potenciométrico*, há o item ***Calibração*** (Figura 3.17). O SCBR disponibiliza um *Gráfico*

entre a carga hidráulica simulada e a carga hidráulica medida (Figura 3.18), e em outra aba, denominada *Análise Residual*, que apresenta os resultados estatísticos da simulação da velocidade da água subterrânea (Figura 3.19). Para que a calibração seja considerada como adequada o Quociente (Desvio Padrão/Amplitude) precisa ser inferior a 15% (Para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas).

A calibração pode ser otimizada alterando-se o domínio de simulação de modo que os pontos de análises se encontrem próximo ao domínio.

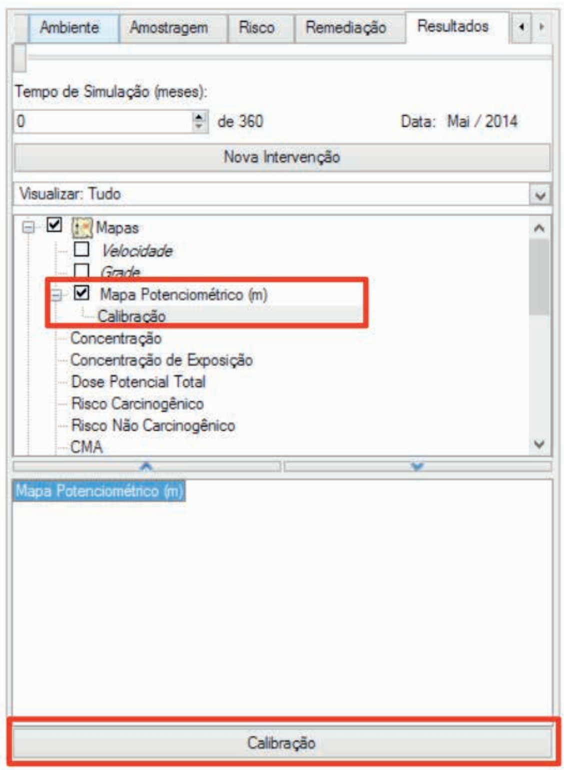


Figura 3.17 Calibração do mapa potenciométrico, resultado da simulação do SCBR.

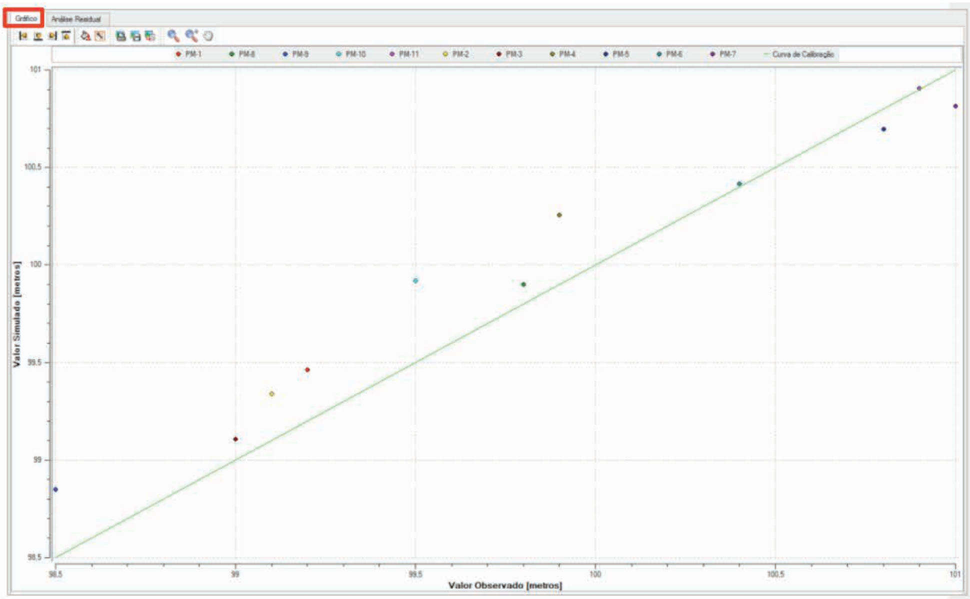


Figura 3.18 Gráfico da calibração da velocidade da água subterrânea determinada pelo SCBR.

Gráfico | **Análise Residual**

Nome	Carga Hidráulica Simulada	Carga Hidráulica Medida	Resíduo
PM-11	100.905291372	100.9	0.00529137150848
PM-6	100.417083542	100.4	0.0170835422733
PM-8	99.8999715333	99.8	0.099971533334
PM-5	100.69580566	100.8	-0.104194339813
PM-3	99.1084631027	99.0	0.108463102743
PM-7	100.815653653	101.0	-0.184346347154
PM-2	99.338257132	99.1	0.23825713203
PM-1	99.4640937	99.2	0.264093700016
PM-9	98.8487994187	98.5	0.34879941873
PM-4	100.256916214	99.9	0.356916214024
PM-10	99.9197943663	99.5	0.419794366314

Número de pontos	11
Amplitude	2,50E+00
Resíduo Mínimo	5,29E-03
Resíduo Máximo	4,20E-01
Média Residual	1,43E-01
Média Residual Absoluta	1,95E-01
Desvio Padrão Residual	1,99E-01
Desvio Padrão Residual/Amplitude	7,95%
Raiz do Erro Quadrático Médio (RMS)	2,37E-01
Raiz do Erro Quadrático Médio Normalizado	9,49%
Coeficiente de Correlação	9,84E-01

Figura 3.19 Análise Residual da velocidade da água subterrânea.

3.4.1 Inspetores

Os inspetores (ponto, polilinha e área) são ferramentas desenvolvidas com a finalidade de ajudar no refinamento do resultado. Neste exemplo, vamos abranger a funcionalidade do ponto e da polilinha.

Para a criação do ponto deve-se entrar no módulo ***Resultados***, no item *Inspetores* ( ) e clicar em *Criar inspetor de ponto* (Figura 3.20). Ao criar um inspetor ponto é possível

verificar a linha de fluxo a partir daquele ponto, ou seja, é possível verificar a trajetória de partícula (Figura 3.21 e Figura 3.22). É possível extrair as informações ao longo dessa trajetória, utilizando a polilinha. Para criar a polilinha, deve-se entrar no módulo ***Resultados***, no item Inspetores ( ) e clicar em *Criar inspetor de polilinha*, e selecionar o ponto inicial, clicando com o botão esquerdo do mouse, e nos pontos intermediários, até chegar no ponto final, sendo que para finalizar a polilinha basta clicar com o botão direito (Figura 3.22).

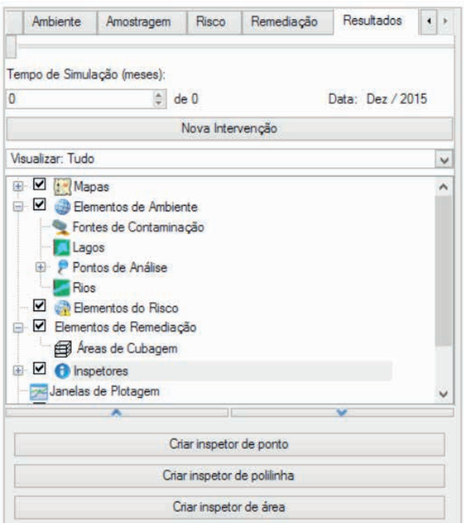


Figura 3.20 Módulo Resultado para a criação de inspetores.

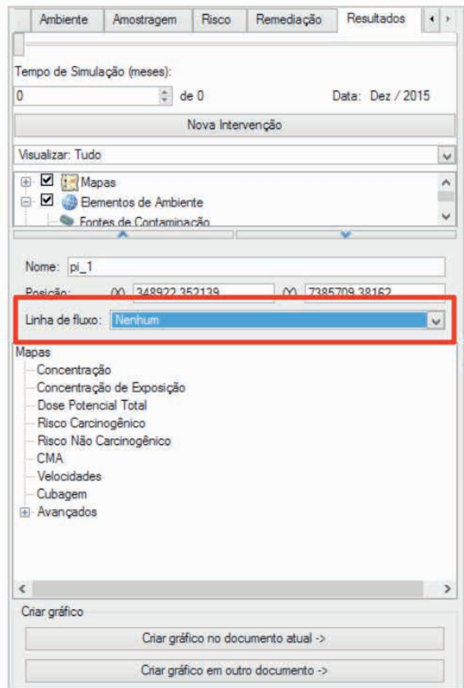


Figura 3.21 Criação do inspetor ponto e as suas funcionalidades.

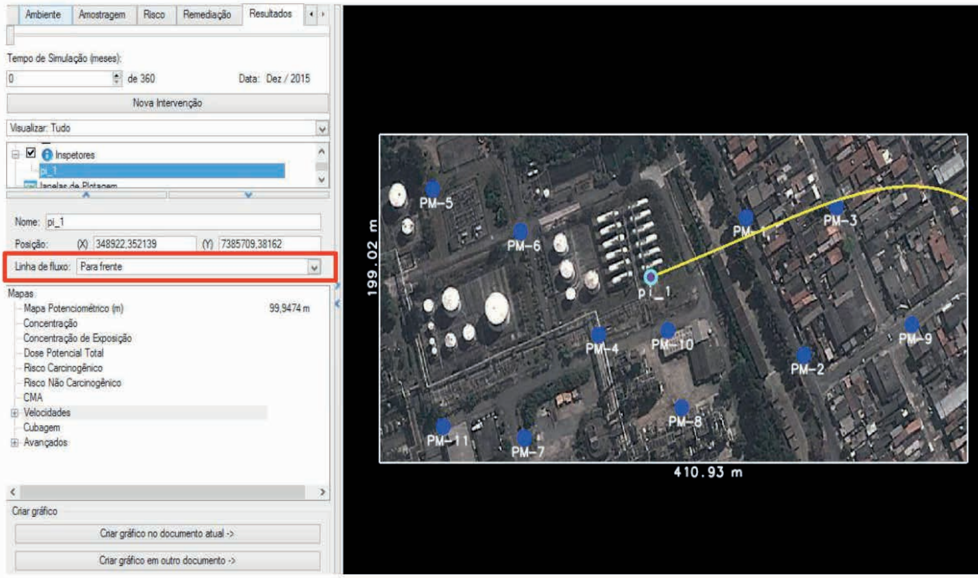


Figura 3.22 Trajetória da partícula a partir do inspetor ponto.

Para a extração dos gráficos referentes à polilinha basta selecionar a polilinha de interesse no subitem ***Inspetores***, no módulo ***Resultado***, e o mapa desejado no item *Mapas* do *Painel de Edição* (Figura 3.23), para o exemplo em questão foi selecionado o mapa da magnitude da velocidade e após criou-se o gráfico no documento atual (Figura 3.24). Além do mapa da magnitude da velocidade, é possível gerar o gráfico do mapa potenciométrico, gráficos dos vetores da velocidade, entre outros. Dentro do item da polilinha ainda há a possibilidade de observar os valores obtidos na modelagem clicando em cima dos itens.

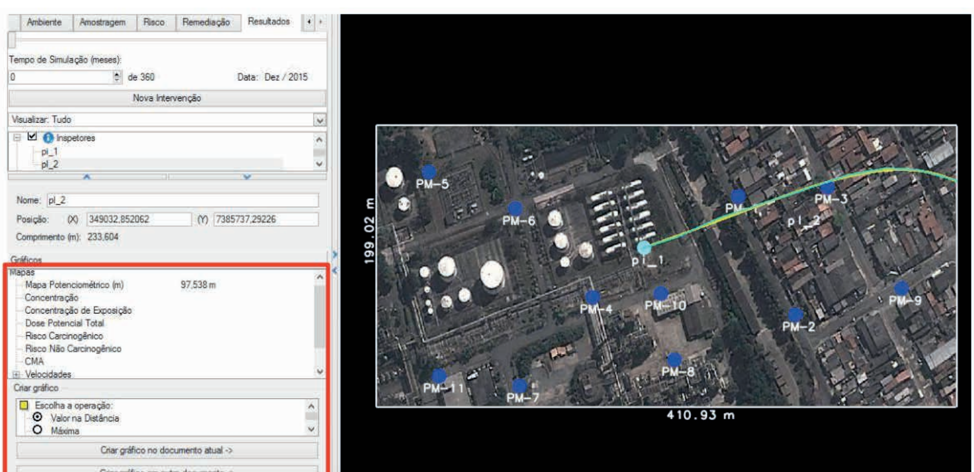


Figura 3.23 Polilinha ao longo da trajetória de partícula.

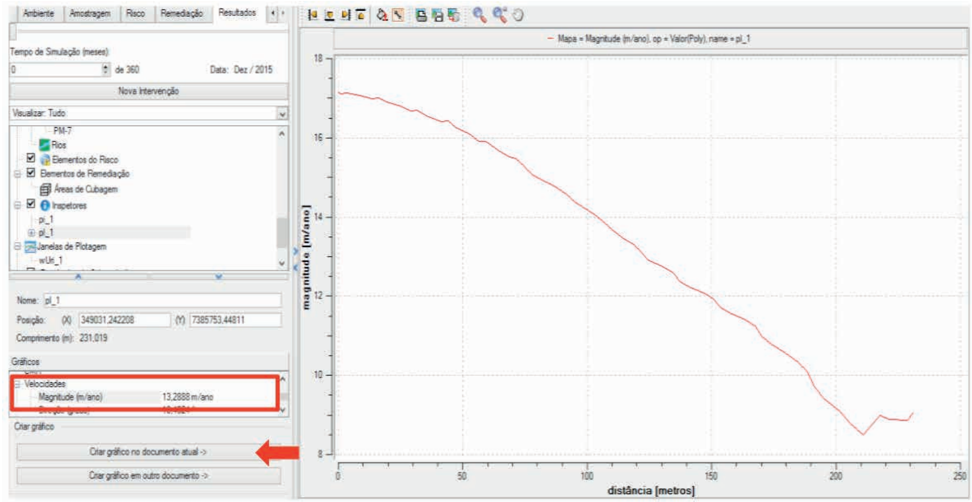


Figura 3.24 Mapa da magnitude da velocidade.

Caso seja necessário excluir uma polilinha pode-se clicar no ícone *Deletar* () na barra de ferramentas e clicar em cima da polilinha a ser excluída.

3.5. Simulação do Transporte de Contaminantes

Por meio do módulo ***Ambiente*** é possível caracterizar a simulação do transporte de contaminantes. Inicialmente, é necessário definir as *Propriedades Gerais do Aquífero* em relação a *Dispersividade* e a *Sorção*, ambos os processos que influenciam no transporte do contaminante. Para este exemplo será assumido os valores *default* para a dispersividade da área (Figura 3.25), enquanto para os parâmetros de sorção serão considerados os valores de densidade do solo e do carbono apresentados na Figura 3.26.

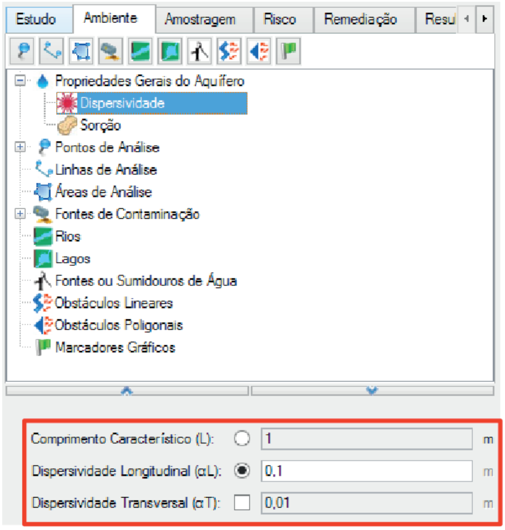


Figura 3.25 Caracterização do processo de Dispersividade.

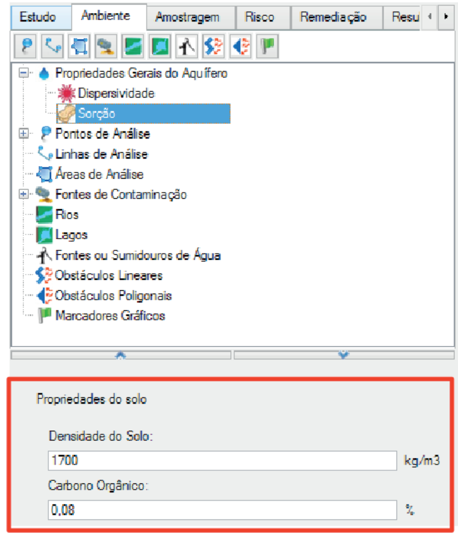


Figura 3.26 Caracterização do processo de Sorção.

Para definir a localização da fonte de contaminação, pode-se utilizar o item ( ), disponibilizado no painel de navegação, ou pode-se utilizar o subitem ***Fonte de Contaminação***, e clicar em ***Editar Fontes de Contaminação***.

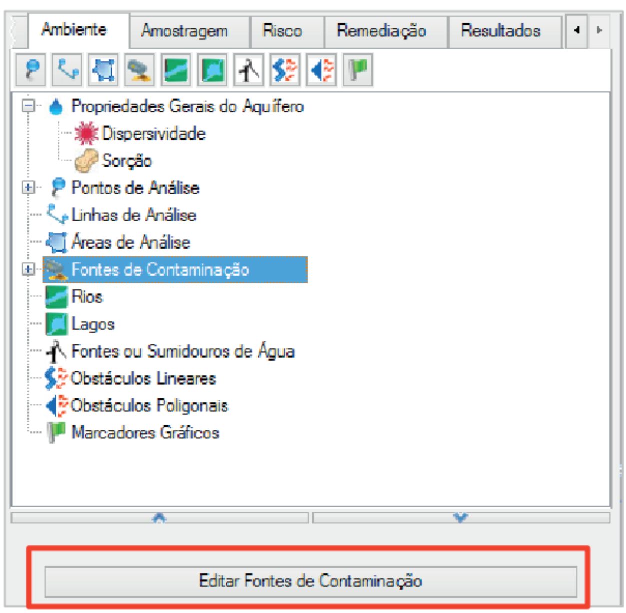


Figura 3.27 ***Fonte de Contaminação*** no módulo ***Ambiente.***

Ao selecionar *Editar Fontes de Contaminação*, é apresentado a aba *Fontes de Contaminação* (Figura 3.28), onde é necessário inserir o nome da fonte de contaminação e os vértices que delimitam essa fonte.

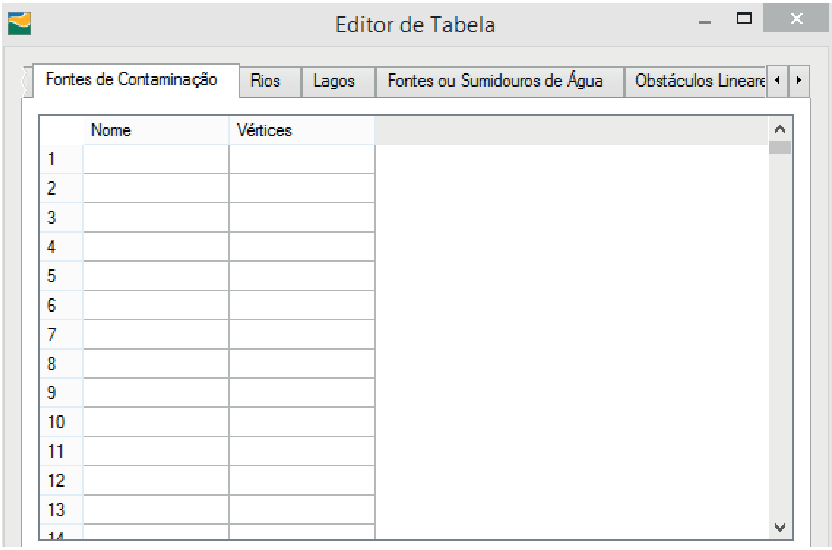


Figura 3.28 Editor de Tabelas da Fonte de Contaminação no SCBR.

A Tabela 3.3 apresenta um exemplo de fontes de contaminação e os seus vértices de para a delimitação, enquanto a Figura 3.29 apresenta a delimitação da fonte de contaminação no SCBR.

Tabela 3.3 Fontes de contaminação na zona não saturada (FZNS) e saturada (FZS).

Nome	*Vértices*
FZNS	(348898,510165;7385662,22736); (348906,510165;7385662,22736); (348906,510165;7385654,22736); (348898,510165;7385654,22736)
FZS	(348862,743457;7385703,62254); (348862,743457;7385695,62254); (348870,743457;7385695,62254); (348870,743457;7385703,62254)



Figura 3.29 Fontes de Contaminação delimitadas no SCBR.

3.5.1. Caracterização da Fonte de Contaminação na Zona Não Saturada

Para as fontes de contaminação na zona não saturada do solo, o SCBR é capaz de simular os seguintes fenômenos: Volatilização de vapores e Lixiviação das substâncias químicas de interesse do percolado (Figura 3.30). Desta forma, para a simulação da fonte de contaminação na zona não saturada é necessário informar: o produto derramado, as características da contaminação, as concentrações da contaminação, a característica hidrogeológica do solo e dos processos de biodegradação.

Neste exemplo será considerado o derramamento de Óleo Diesel, com as características apresentadas na Figura 3.31.

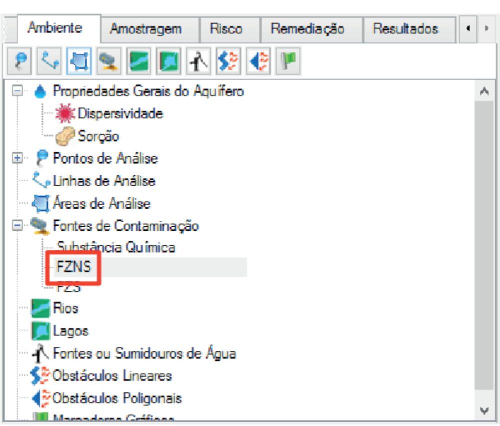


Figura 3.30 Fonte na zona não saturada no módulo ***Ambiente.***

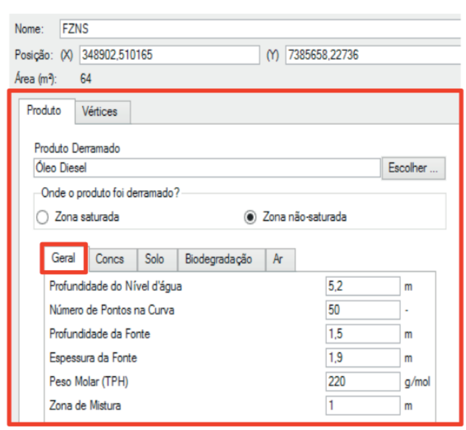


Figura 3.31 Caracterização da contaminação na zona não saturada no módulo ***Ambiente***.

Concentração das substâncias químicas de interesse: Após a caracterização geral da fonte de contaminação na zona não saturada, é necessário informar as concentrações das substâncias químicas e dos produtos encontradas nas investigações da área de estudo (Figura 3.32). Neste exemplo, foi considerado como substância química de interesse, o Benzeno.

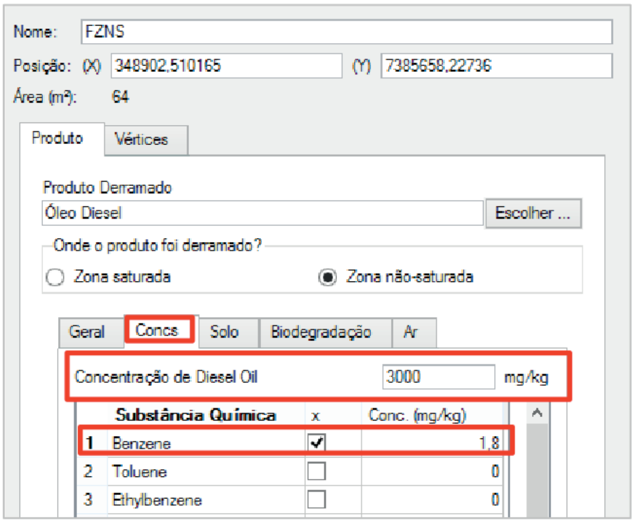


Figura 3.32 Concentrações das substâncias químicas de interesse e do produto, na zona não saturado, determinado nas investigações.

Caracterização hidrogeológicas solo: Para que possa ser simulado a fonte de contaminação na zona não saturada, é necessário definir as características hidrogeológicas da região da contaminação, como apresentado na Figura 3.33.

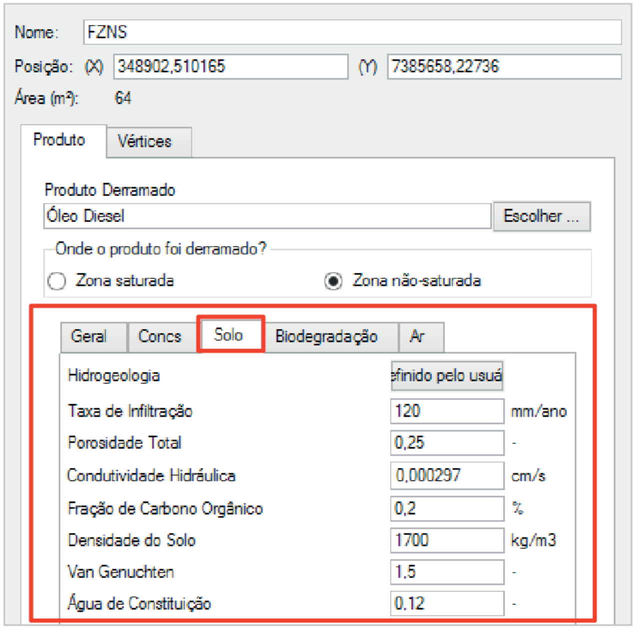


Figura 3.33 Caracterização hidrogeológica da região contaminada.

Caracterização da biodegradação no solo: Caso haja informações sobre as taxas de degradação das substâncias químicas na zona não saturada, é possível adicionar na aba ***Biodegradação*** (Figura 3.34). Para este exemplo, não há informação sobre as taxas de biodegradação, por isso os valores são zeros.

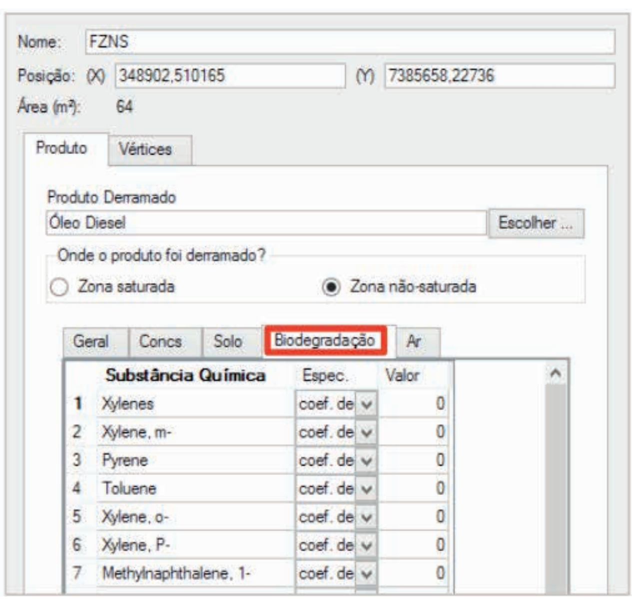


Figura 3.34 Informações sobre os coeficientes de degradação das substâncias químicas de interesse na zona não saturada.

__Caracterização das propriedades físicas do ar:__ É utilizada para determinar as taxas de volatilização das substâncias químicas para o ar, podendo-se considerar ou não a presença de lente no solo; caso a caixa "*Usar lentas na simulação do ar*?" não seja selecionada, basta apenas informar a velocidade do vento (1 m/s) e a altura da caixa (2 metros) (Figura 3.35).

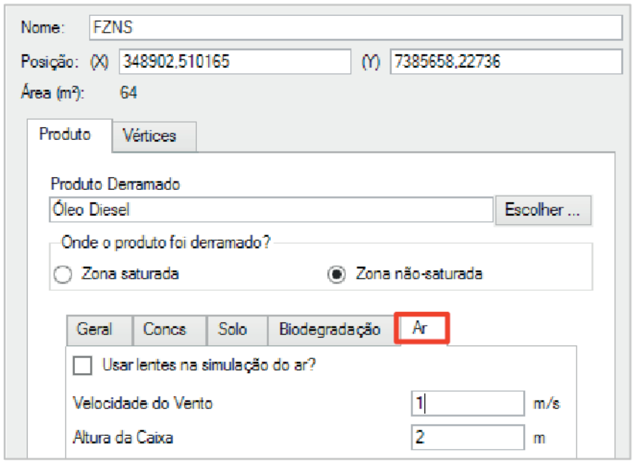


Figura 3.35 Caracterização das propriedades físicas do ar.

Cabe destacar que a simulação do transporte a partir da zona não saturada permite o acoplamento com a zona saturada, ou seja, caso a lixiviação da substância química de interesse alcance o nível da água, o SCBR continua a simulação da migração da substância química, em fase dissolvida, na água subterrânea. No entanto, para isso é necessário que seja considerado um valor mínimo na recarga, para que ele não influencie na simulação, neste caso, consideraremos 0,01 mm/ano (Figura 3.36).

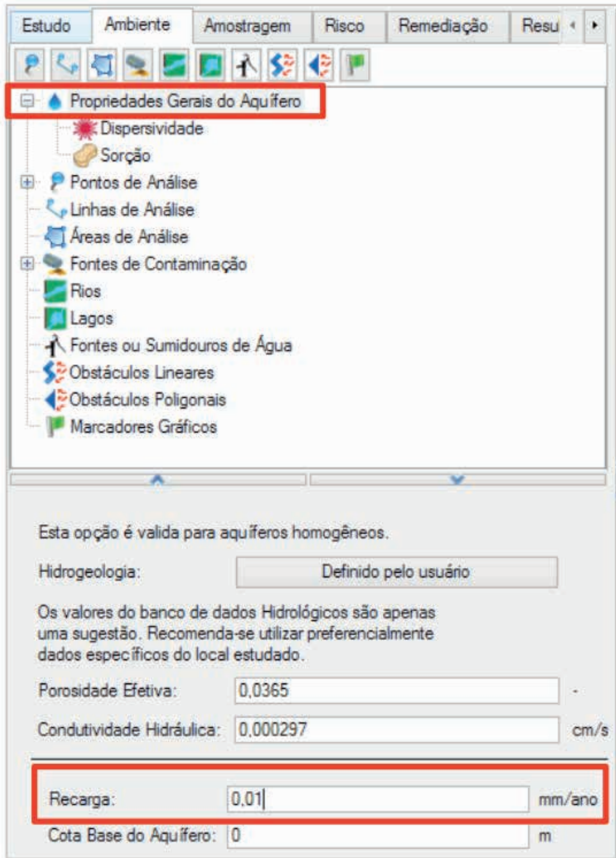


Figura 3.36 Recarga para o acoplamento do transporte da zona não saturada e na zona saturada.

3.5.2. Caracterização da Fonte de Contaminação na Zona Saturada

Ao simular uma fonte de contaminação na zona saturada considera-se que está diretamente em contato com o aquífero. Para a simulação é necessário informar o tipo de produto derramado, o volume, e a espessura da zona de mistura. Além de que o SCBR permite escolher entre dois modelos de dissolução das substâncias químicas: Lei de Raoult ou Concentração Medida. Neste exemplo, consideraremos um derramamento de 1.000 L de Gasolina Brasileira, com uma zona de mistura equivalente a 1 m, no qual a dissolução das substâncias químicas de interesse será de acordo com o modelo da Lei de Raoult (Figura 3.37).

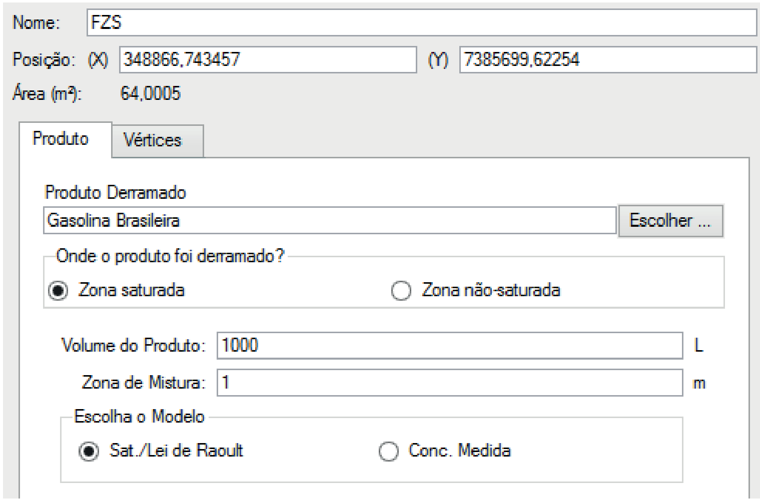


Figura 3.37 Caracterização da fonte de contaminação na zona saturada.

Após a definição do produto derramado é possível determinar as substâncias químicas de interesse a partir da fonte de contaminação na zona saturada, neste exemplo serão considerados o Benzeno e o Etanol. Para a definição das substâncias químicas de interesse, basta ir ao item *Fontes de Contaminação* no módulo **Ambiente**, e selecionar o subitem *Substâncias Químicas* (Figura 3.38)**.** Ainda ao selecionar as substâncias químicas de interesse, é possível determinar as taxas de biodegradação e determinar se o retardo será considerado ou não na simulação do transporte de contaminantes.

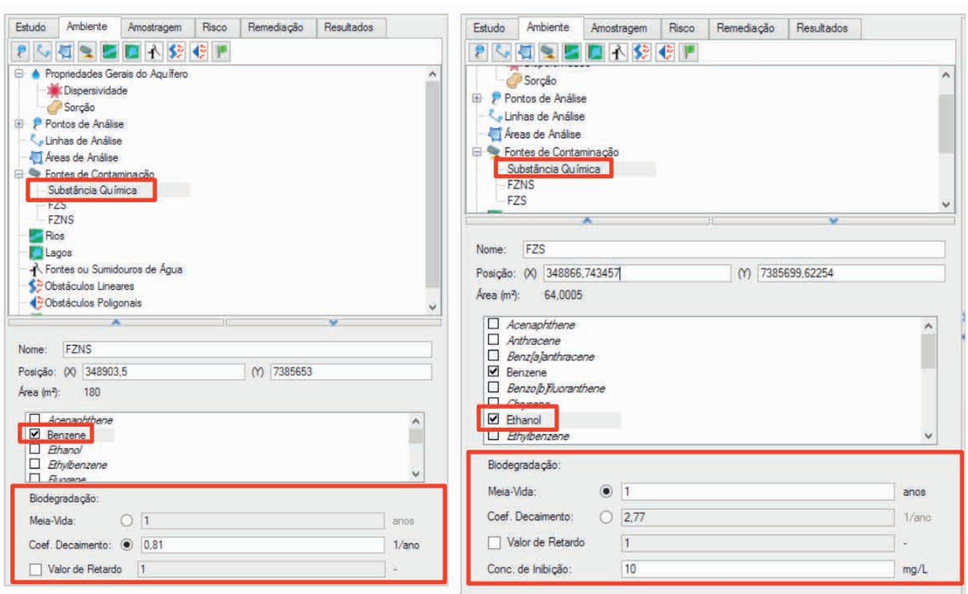


Figura 3.38 Definição das substâncias químicas de interesse na simulação da fonte de contaminação na zona saturada.

3.5.3. Cálculo da Fonte de Contaminação na zona não saturada e saturada

Depois de adicionadas e caracterizadas as fontes de contaminação na zona não saturada e na zona saturada, pode-se simular o transporte de contaminantes. Para a simulação da fonte na zona não saturada basta clicar no ícone ( ), enquanto para a simulação da fonte na zona saturada basta clicar no ícone ( ). Em ambas as simulações devem ser definidos os poluentes que se deseja analisar.

<u>Resultado da simulação na zona não saturada:</u>

Os resultados da simulação para uma fonte de contaminação na zona não saturada podem ser visualizados por meio do módulo *Resultados* e o subitem *Resultados do Solo e do Ar* (Figura 3.39).

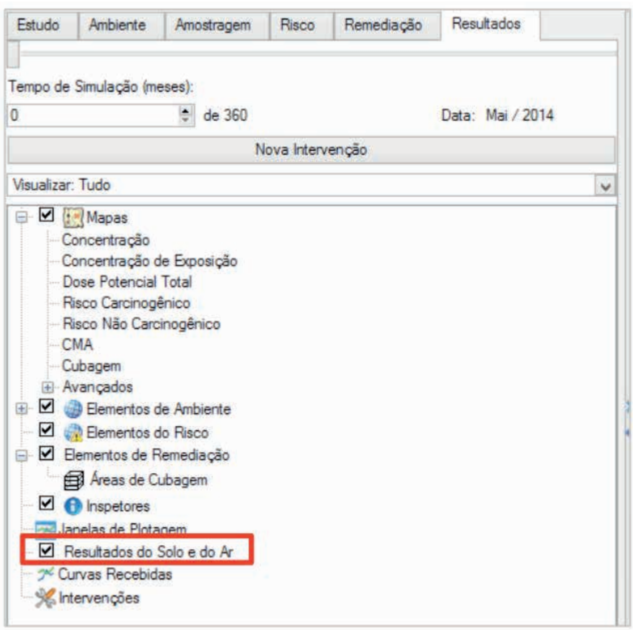


Figura 3.39 Subitem para a visualização dos resultados da simulação da fonte de contaminação na zona não saturada.

- <u>*Lixiviação da substância química na zona não saturada*</u>: O resultado da lixiviação pode ser observado na aba *Resultados do Solo* e na aba *Resultados do Simulador Log. Solo/Ar*. Na aba *Resultados do Solo é apresentado o gráfico da frente de migração das substância*s químicas de interesse (Figura 3.40). Enquanto na aba *Resultados do Simulador Log. Solo/Ar* é possível verificar o tempo em que cada substância atinge o aquífero e em qual concentração, além das demais características de simulação (Figura 3.41).

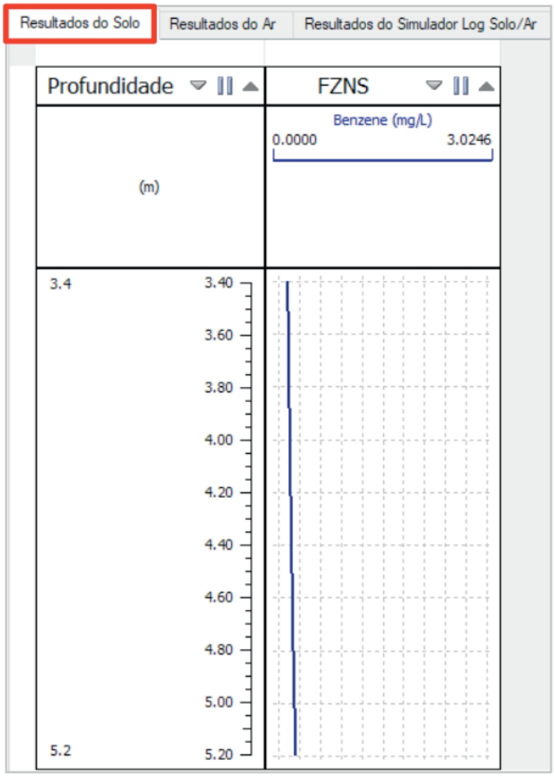


Figura 3.40 Lixiviação das substâncias químicas de interesse após 360 meses da contaminação.

```
<-------------------- Time when each component reach the aquifer ------------------->
Component name                                Timestep      Concentration
Benzene:                                         28          1.43 ug/L
```

Figura 3.41. Resultados do Simulados Log Solo/Ar.

- *Volatilização das substâncias químicas de interesse para o ar:* O resultado é apresentado na aba *Resultados do Ar,* por meio de um gráfico que demonstra a variação da concentração das substâncias químicas no ar, em função dos meses (Figura 3.42). A aba *Resultados Simulador Log Solo/Ar* também apresenta os parâmetros calculados especificamente para a volatilização, tais como: taxa de volatilização, fluxo de vapor e difusão efetiva para o ar.

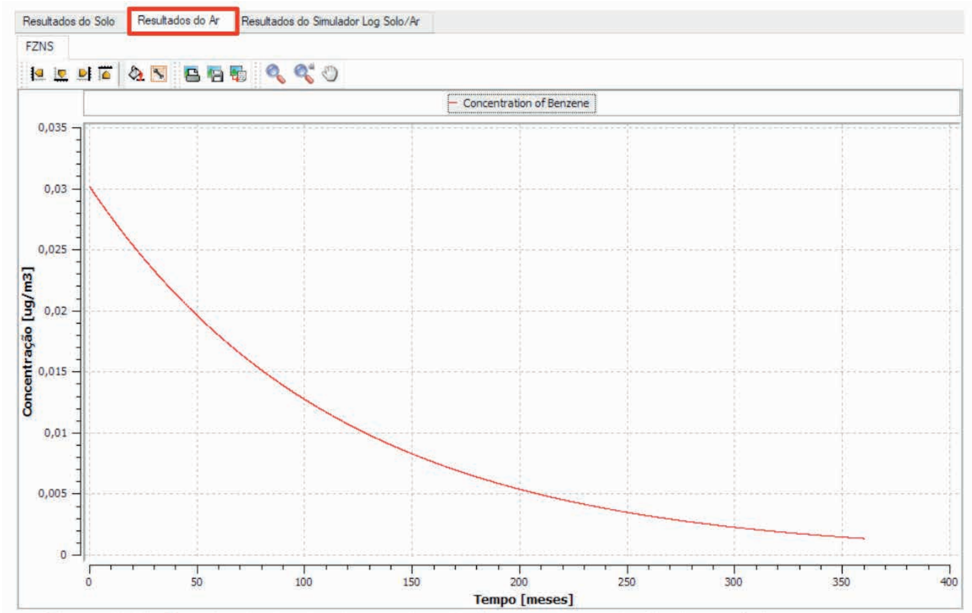


Figura 3.42 Resultado da simulação da volatilização das substâncias químicas para o ar em função dos meses.

Resultado da simulação da fonte de contaminação na zona saturada:

- *Mapa de concentração da substância química de interesse*: Após a simulação da fonte de contaminação na zona saturada é possível visualizar as plumas de Benzeno no módulo ***Resultados***, subitem ***Concentração.*** As plumas podem ser vistas em função do tempo de simulação. Ainda o SCBR permite que sejam alteradas as escalas de concentração.

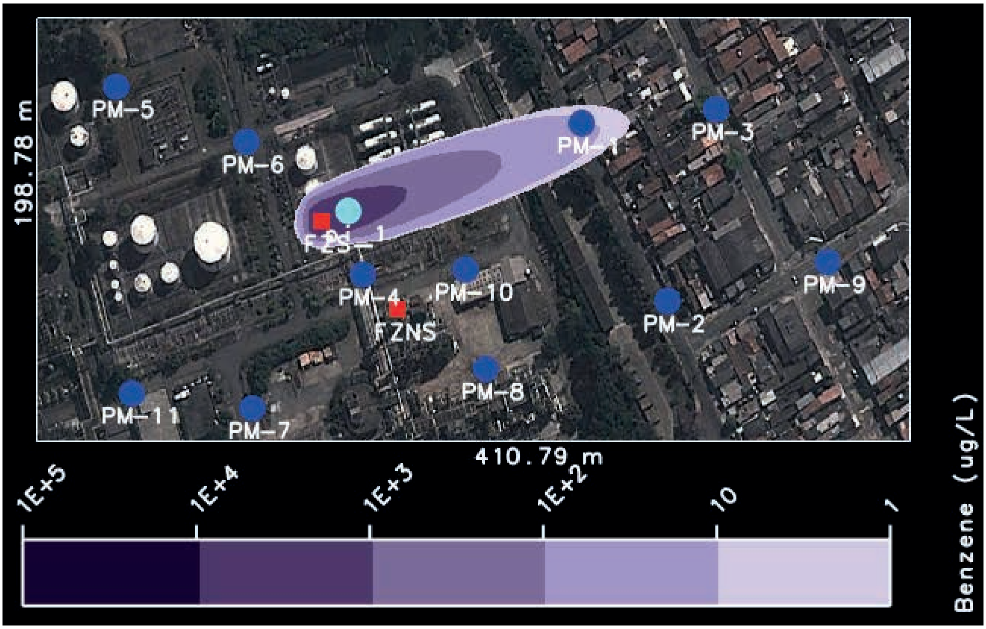


Figura 3.43 Simulação do Benzeno na zona saturada em função do tempo (tempo =360 meses).

3.6 Risco e Concentração Máxima Aceitável (CMA)

O módulo ***Risco*** é destinado ao cálculo e mapeamento do Risco à Saúde Humana. O SCBR permite ao usuário calcular o Risco a partir de concentrações simuladas ou medidas. Para este exemplo, será calculado o risco das concentrações medidas de Benzeno na água subterrânea e do Etilbenzeno e do Tolueno medidas no solo subsuperficial.

3.6.1. Cálculo do Risco – Concentração Medida

A quantificação do Risco à Saúde Humana será feita a partir de concentrações medidas no solo e na água subterrânea:

a) No módulo ***Risco***, clique sobre a opção *Configuração do Risco*, selecionando a metodologia CETESB (Figura 3.44).

b) No cálculo do Risco serão considerados apenas os meios *Solo Subsuperficial* e *Água Subterrânea*.

c) No meio *Solo Subsuperficial*, adicione os compostos químicos Benzeno clicando sobre o botão Selecionar Substâncias Químicas e selecionando os compostos na janela selecione as substâncias químicas (Figura 3.45).

d) No meio Água Subterrânea, adicione também os compostos químicos Etilbenzeno e Tolueno clicando sobre o botão *Selecionar Substâncias Químicas* e selecionando os compostos (Figura 3.46).

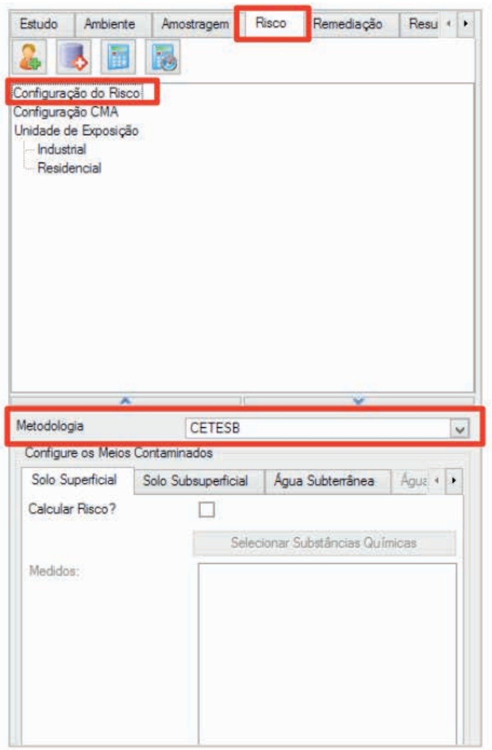


Figura 3.44 Configuração do Risco no SCBR.

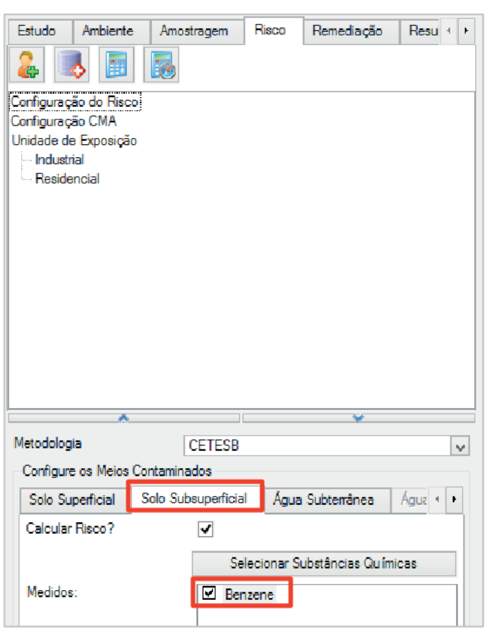


Figura 3.45 Configuração das substâncias químicas de interesse para o *Solo Subsuperficial*.

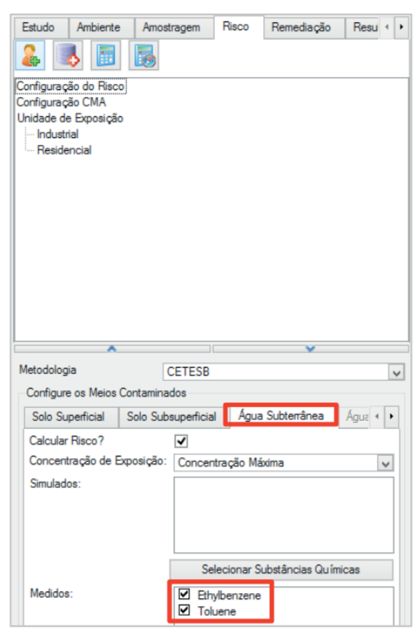


Figura 3.46 Configuração das substâncias químicas de interesse para a *Água Subterrânea*.

e) O próximo passo é definir as *Unidades de Exposição* da área, para isto é necessário ir ao subitem *Unidade de Exposição*. O SCBR permite que sejam criadas as *Unidade de Exposição* a partir de duas formas ou manualmente por meio do ícone (), localizado no painel de informação, ou por meio do subitem *Criar Unidades de Exposição*, no qual para criar a unidade de exposição devem ser informados os centroides das unidades de exposição por meio da localização da posição x (m) e posição y (m). Para este exemplo vamos optar pela criação das unidades de exposição manualmente, seguindo o exemplo apresentado na Figura 3.47. A área delimitada em verde corresponde a unidade de exposição correspondente ao uso do solo Comercial/Industrial (ao definir o uso do solo, o SCBR altera a cor do domínio automaticamente), e a área delimitada em azul correspondo ao uso solo Residencial.



Figura 3.47 Unidade de Exposição no SCBR.

Após delimitar as unidades de exposição é necessário definir o modelo conceitual de exposição, informando: os tipos de uso do solo, receptores, rotas de ingresso, concentrações medidas e parâmetros associados aos cenários de inalação. As Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam as configurações para calcular o risco.

Tabela 3.4 Caracterização das unidades de exposição.

Item	*Industrial*	*Residencial*
Uso do Solo	Comercial/Industrial	Residencial Urbano
Receptores	• Trabalhador comercial e industrial	• Adulto • Criança
Rotas	Solo Subsuperficial: • Inalação em ambientes abertos a partir do solo subsuperficial • Inalação em ambientes fechados a partir do solo subsuperficial Água Subterrânea: • Inalação em ambientes abertos a partir da água subterrânea • Inalação em ambientes fechados a partir da água subterrânea • Contato dérmico com água subterrânea • Ingestão de água subterrânea	Água Subterrânea: • Contato dérmico com água subterrânea • Ingestão de água subterrânea
Medições	Solo Subsuperficial: Benzeno: 1,8 mg/kg Água Subterrânea: Etilbenzeno: 967 mg/L Tolueno: 2.647 mg/L	Água Subterrânea Etilbenzeno: 689 mg/L Tolueno: 854 mg/L

Tabela 3.5 Caracterização das variáveis gerais para a simulação do Risco.

Variável	*Descrição*	*Valor*	*Unidade*
Ab	Área das fundações	200000	cm^2
LSoloSup	Espessura do solo superficial impactado	100	cm
Lb	Pé direito	300	cm
Lcrk	Espessura das fundações/paredes de construções	15	cm
Lgwa	Profundidade do Nível d'água	520	cm
RHOs	Densidade do Solo	1700	kg/m^3
THETAt	Porosidade Total	0,25	-
Zcrk	Profundidade da base das fundações	15	cm
foc	Fração de Carbono Orgânico	0,2	%
hcap	Espessura da franja capilar	5	cm

Realize o cálculo do risco por meio do ícone (). A janela apresentada na Figura 3.48 será mostrada, para que o usuário possa conferir as informações a serem utilizadas para o cálculo do Risco:

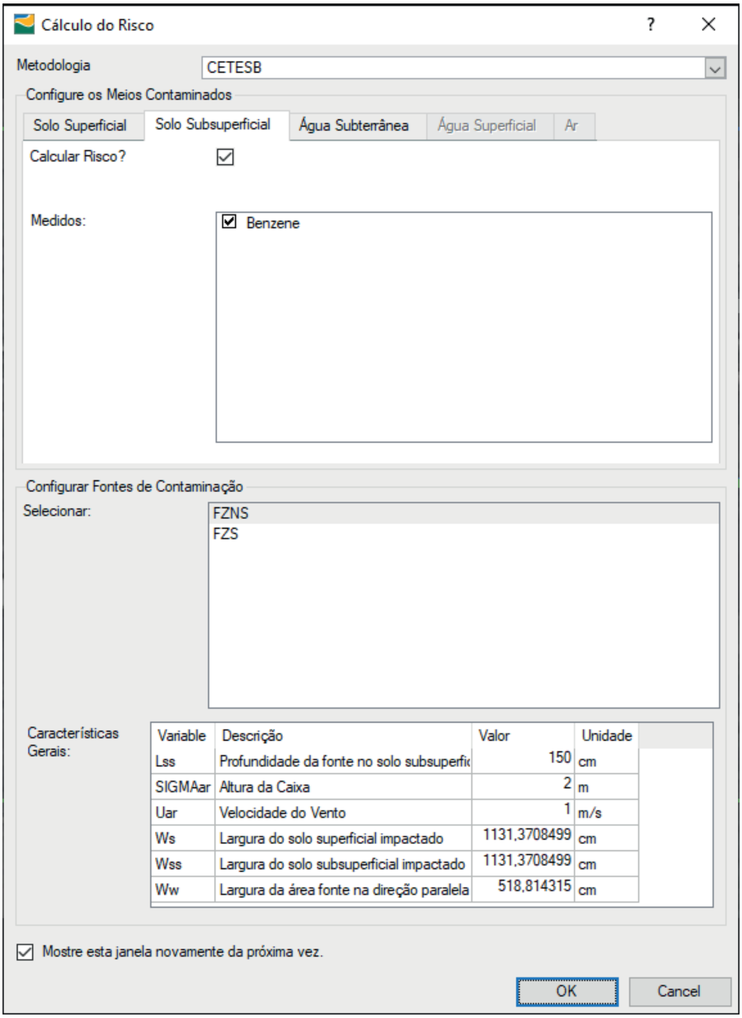


Figura 3.48 Cálculo do Risco no SCBR.

Neste exemplo, só serão calculados os riscos do *Solo Subsuperficial* e *Água Subterrânea*. Então é necessário que a opção *Calcular Risco?* esteja selecionada para estas opções. Na aba *Solo Subsuperficial* deve-se informar o valor da *Profundidade da fonte no solo subsuperficial*, que neste exemplo será 525,00 cm para a fonte na zona saturada e 150,00 cm para a fonte de contaminação na zona *não saturada.*

Após a simulação acesse o módulo ***Resultados*** para visualizar os mapas de risco. No Painel de Navegação pode-se selecionar os Mapas de Risco que serão mostrados na área de visualização e divididos em risco carcinogênico e não carcinogênico, e dentro dessas divisões, os riscos podem ser visualizados de acordo com os meios contaminados e os receptores (Figuras 3.49, 3.50 e 3.51). Para mais informações é possível gerar o relatório técnico no formato *.pdf* ou *.xml*.

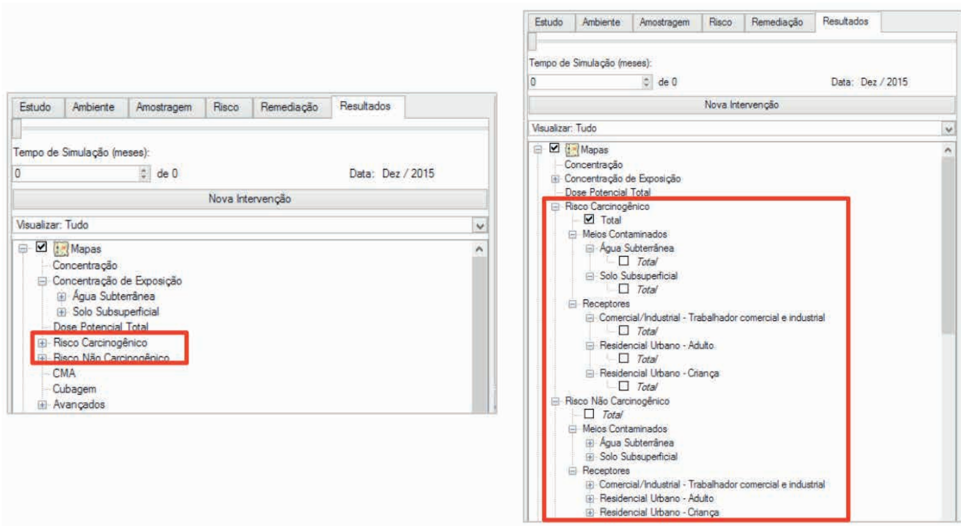


Figura 3.49 Módulo ***Resultados*** e os subitens para a simulação do Risco.

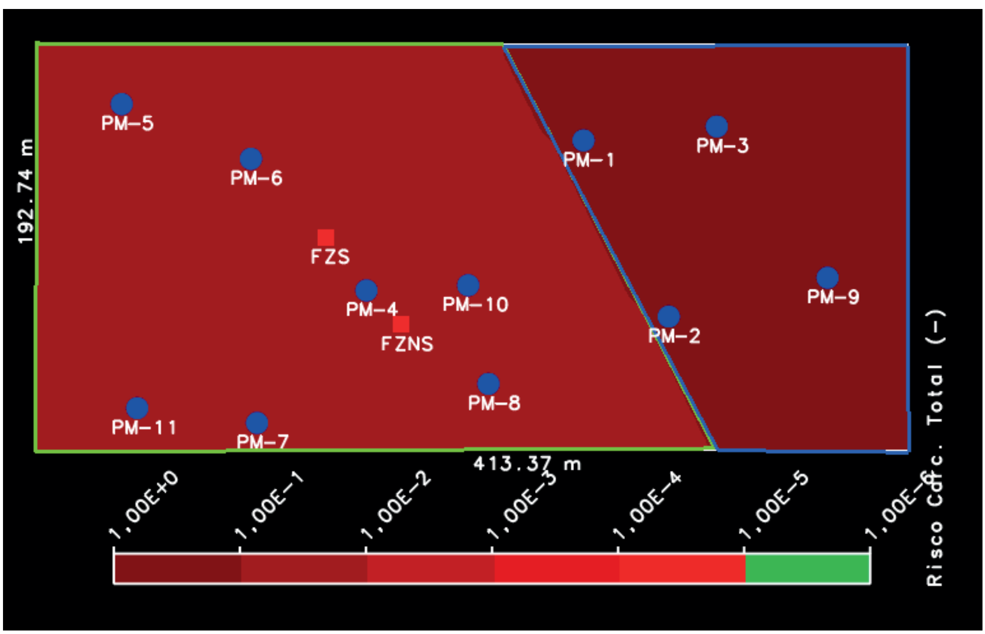


Figura 3.50 Mapa de Risco Carcinogênico Total.

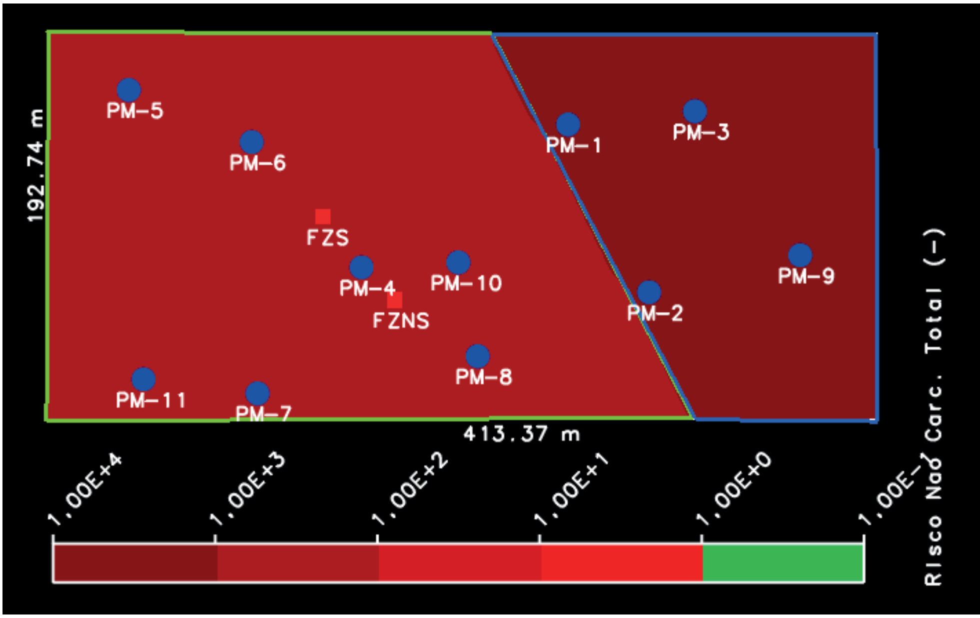


Figura 3.51 Mapa de Risco Não Carcinogênico Total.

3.6.2. Cálculo da CMA - Concentração Medida

Após o Cálculo do Risco é possível calcular a Concentração Máxima Aceitável. Ao clicar no ícone Cálculo da CMA ( ) na aba ***Risco,*** aparecerá a janela apresenta na Figura 3.52.

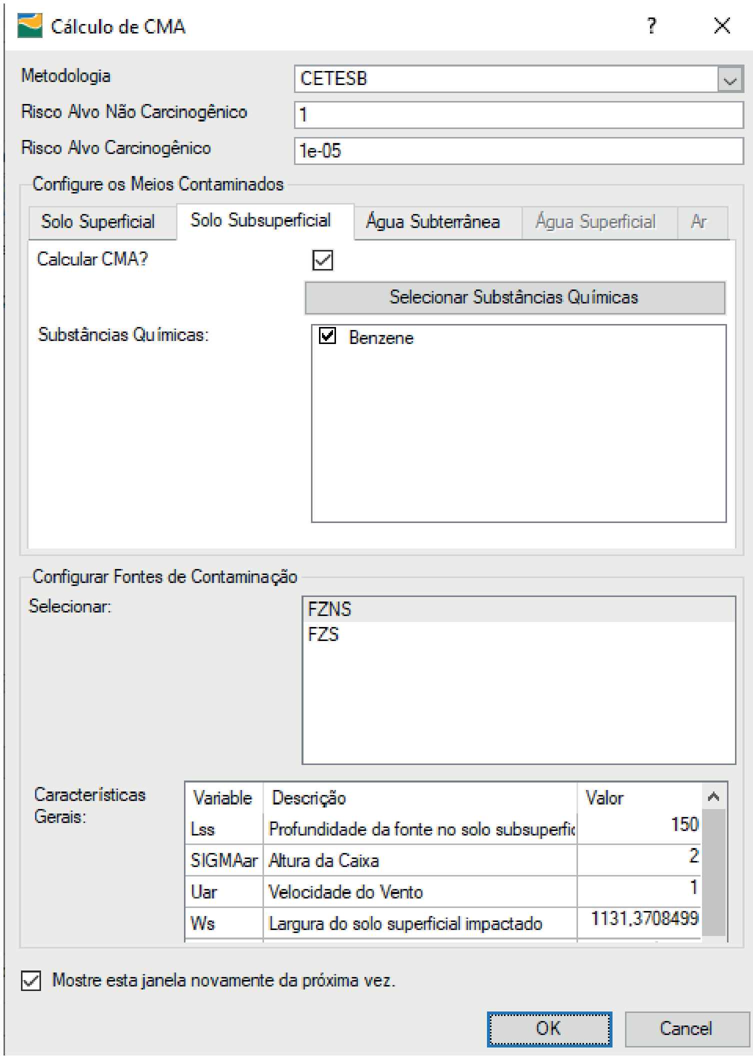


Figura 3.52 Cálculo da Concentração Máxima Aceitável (CMA).

Após verificação dos parâmetros, o usuário deve clicar em OK para que o programa efetue os cálculos da CMA. No módulo ***Resultados*** é possível verificar o resultado da simulação da CMA por meio de mapas os quais são divididos em meio contaminado e a substância química de interesse. E para mais informações é possível gerar um relatório detalhado.

3.6.3. Cálculo do Risco – Concentração Medida e Simulada

Neste exemplo serão calculados o risco da pluma de Benzeno simulada na água subterrânea, o risco das concentrações de Benzeno medidas no solo subsuperficial e o risco das concentrações de Etilbenzeno e Tolueno na água subterrânea. Para o cálculo do

risco por concentração simulada, o cálculo será feito a partir da concentração simulada na água subterrânea para a substância química de interesse Benzeno.

a) Após a simulação do transporte de contaminação (item 3.4.1), é possível simular o risco a partir da concentração simulado no módulo ***Risco***. No módulo, clique sobre a opção *Configuração do Risco*, selecionando a metodologia CETESB.

b) Ainda na *Configuração do Risco*, na aba *Solo Subsuperficial* selecione a substância química de interesse: Benzeno. Enquanto, na aba *Água Subterrânea* selecione a *Concentração de Exposição* como a *Concentração Máxima* e a substância química de interesse simulada: Benzeno e para as substâncias químicas de interesse medido: Etilbenzeno e Tolueno.

c) O próximo passo é definir as *Unidades de Exposição* da área, para isto é necessário ir ao subitem *Unidade de Exposição*. O SCBR permite que sejam criadas as *Unidade de Exposição* a partir de duas formas ou manualmente por meio do ícone (), localizado no painel de navegação, ou por meio do subitem *Criar Unidades de Exposição*, no qual para criar a unidade de exposição deve ser informado os centroides das unidades de exposição por meio da localização da posição x (m) e posição y (m). Para este exemplo vamos optar pela criação das unidades de exposição manualmente como demostra a Figura 3.53.



Figura 3.53 Unidade de Exposição no SCBR

d) Após delimitar as unidades de exposição é necessário definir o modelo conceitual de exposição, informando: os tipos de uso, receptores, rotas de ingresso, concentrações medidas e parâmetros associados aos cenários de inalação. A Tabela 3.6 e Tabela 3.7 apresentam as configurações para calcular o risco.

Tabela 3.6 Caracterização das unidades de exposição.

Item	*Industrial*	*Residencial*
Uso do Solo	Comercial/Industrial	Residencial Urbano
Receptores	• Trabalhador comercial e industrial	• Adulto • Criança
Rotas	Solo Subsuperficial: • Inalação em ambientes abertos a partir do solo subsuperficial • Inalação em ambientes fechados a partir do solo subsuperficial Água Subterrânea: • Inalação em ambientes abertos a partir da água subterrânea • Inalação em ambientes fechados a partir da água subterrânea • Contato dérmico com água subterrânea • Ingestão de água subterrânea	Água Subterrânea: • Contato dérmico com água subterrânea • Ingestão de água subterrânea
Medições	Solo Subsuperficial: Benzeno: 1,8 mg/kg Água Subterrânea: Etilbenzeno: 967 mg/L Tolueno: 2.647 mg/L	Água Subterrânea Etilbenzeno: 689 mg/L Tolueno: 854 mg/L -

Tabela 3.7 Caracterização das variáveis gerais para a simulação do Risco.

Variável	*Descrição*	*Valor*	*Unidade*
Ab	Área das fundações	200000	cm^2
LSoloSup	Espessura do solo superficial impactado	100	cm
Lb	Pé direito	300	cm
Lcrk	Espessura das fundações/paredes de construções	15	cm
Lgwa	Profundidade do Nível d'água	520	cm
RHOs	Densidade do Solo	1700	kg/m^3
THETAt	Porosidade Total	0,25	-
Zcrk	Profundidade da base das fundações	15	cm
foc	Fração de Carbono Orgânico	0,2	%
hcap	Espessura da franja capilar	5	cm

Realize o cálculo do risco por meio do comando *Calcular o risco* (). A janela apresentada na Figura 3.54 será mostrada, para que o usuário possa conferir as informações a serem utilizadas para o cálculo do Risco.

Neste exemplo, só serão calculados os riscos do *Solo Subsuperficial* e Água Subterrânea. Então é necessário que a opção *Calcular Risco?* esteja selecionada para estas opções. Na aba *Solo Subsuperficial* deve-se informar o valor da Profundidade da fonte no solo subsuperficial, que neste exemplo será 525,00 cm para a fonte na zona saturada e 150,00 cm para a fonte de contaminação na zona não saturada.

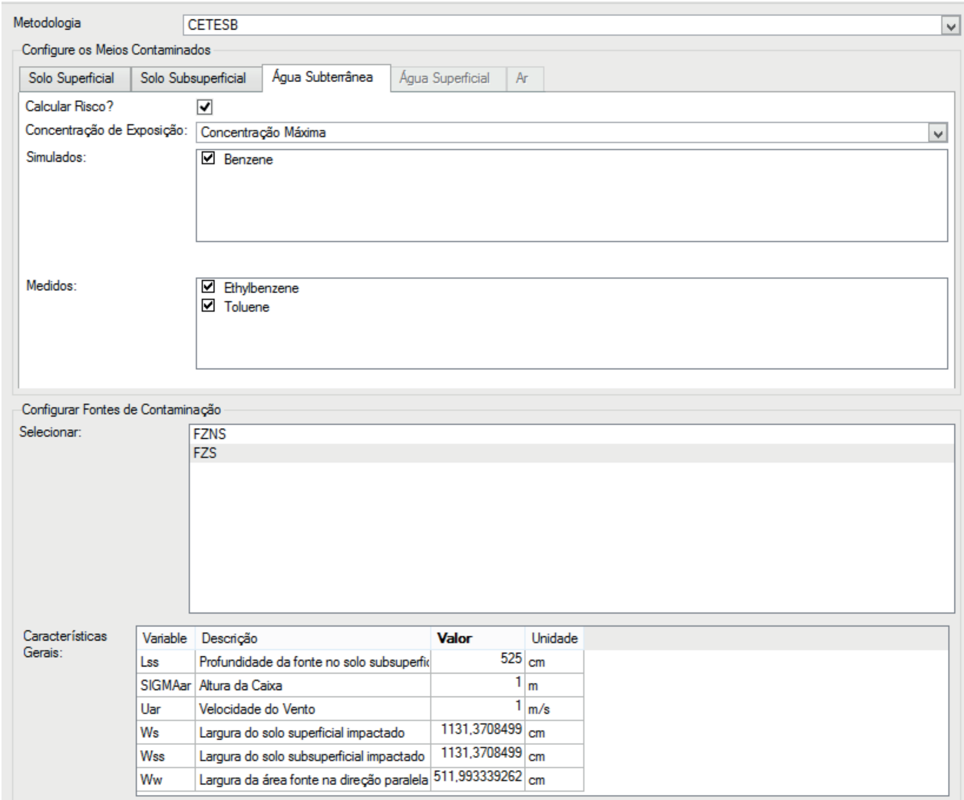


Figura 3.54 Cálculo do Risco Simulado no SCBR.

Após a simulação, acesse o módulo ***Resultados*** para visualizar os mapas de risco. No Painel de Navegação pode-se selecionar os Mapas de Risco que serão mostrados na área de visualização e divididos em risco carcinogênico e não carcinogênico, e dentro dessas divisões, os riscos podem ser visualizados de acordo com os meios contaminados, e os receptores. Além disso, os mapas de risco da concentração simulados são apresentados conforme a máxima concentração da pluma em fase dissolvida (Figuras 3.55 e 3.56). Para mais informações é possível gerar o relatório técnico no formato *.pdf* ou *.xml.*

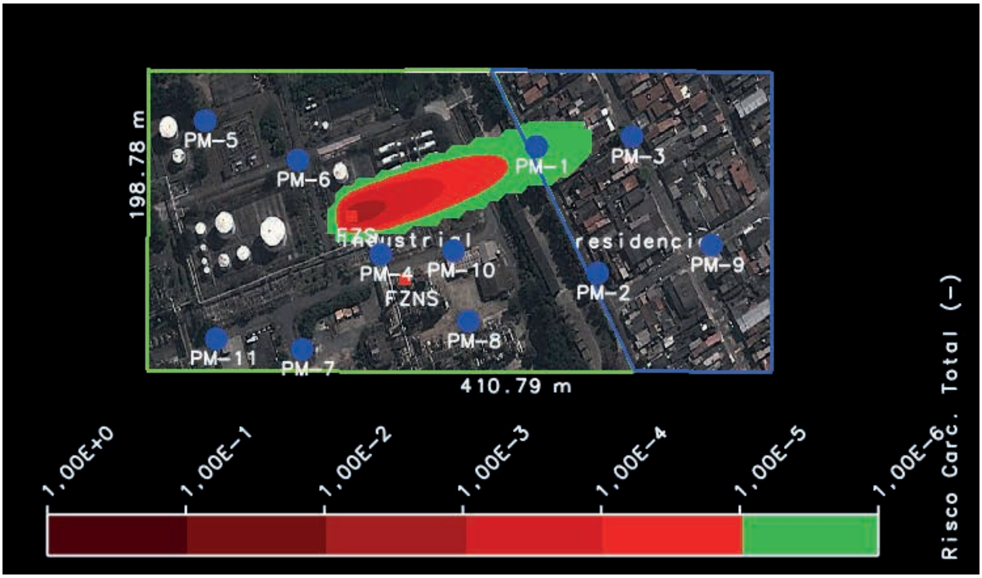


Figura 3.55. Mapa de Risco Carcinogênico Total simulado.

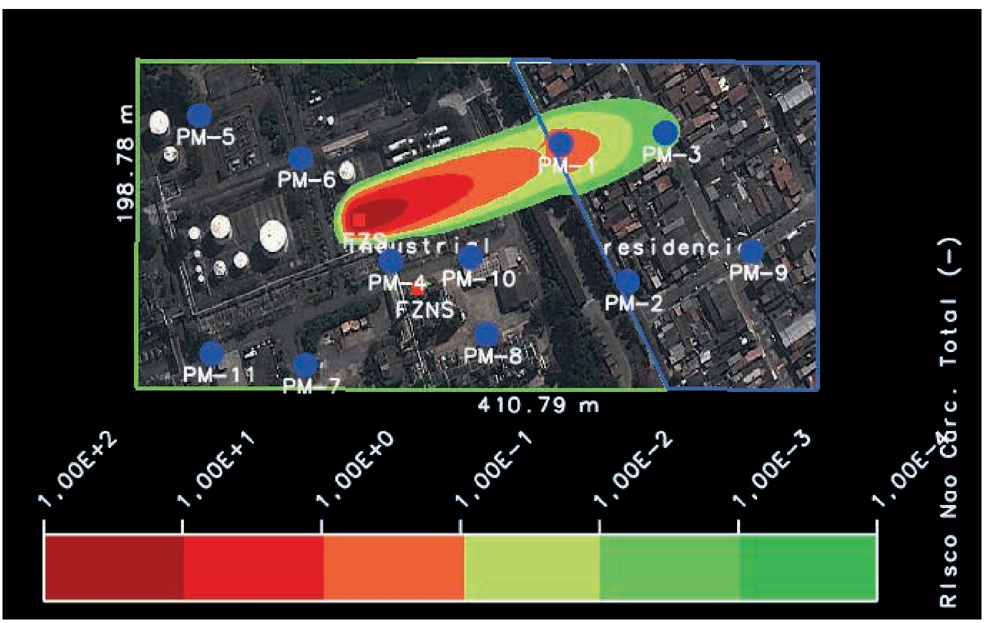


Figura 3.56 Mapa de Risco Não Carcinogênico Total simulado.

3.6.4. Cálculo da CMA – Concentração Medida e Simulada

Após o Cálculo do Risco é possível calcular a máxima concentração aceitável. Ao clicar no ícone Cálculo da CMA ( ) na aba Risco, aparecerá a janela apresenta na Figura 3.57.

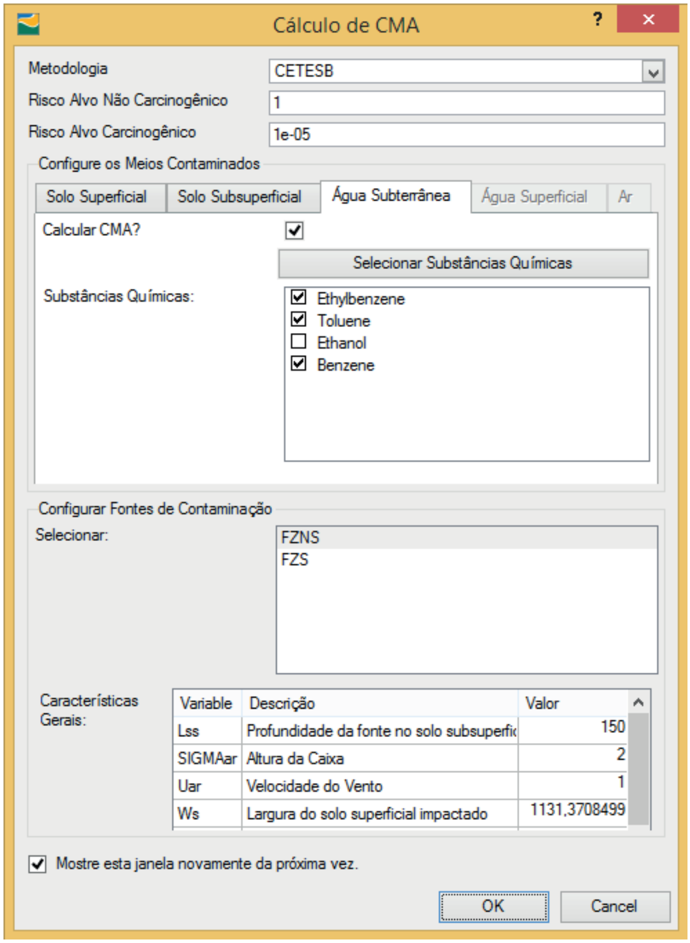


Figura 3.57 Cálculo da CMA medida e simulada.

Após a verificação dos parâmetros, o usuário deve clicar em OK para que o programa efetue os cálculos da CMA. No módulo ***Resultados*** são apresentados os resultados da simulação da CMA por meio de mapas os quais são divididos em meio contaminado e a substância química de interesse. Para informações mais detalhadas é possível gerar um relatório detalhado.

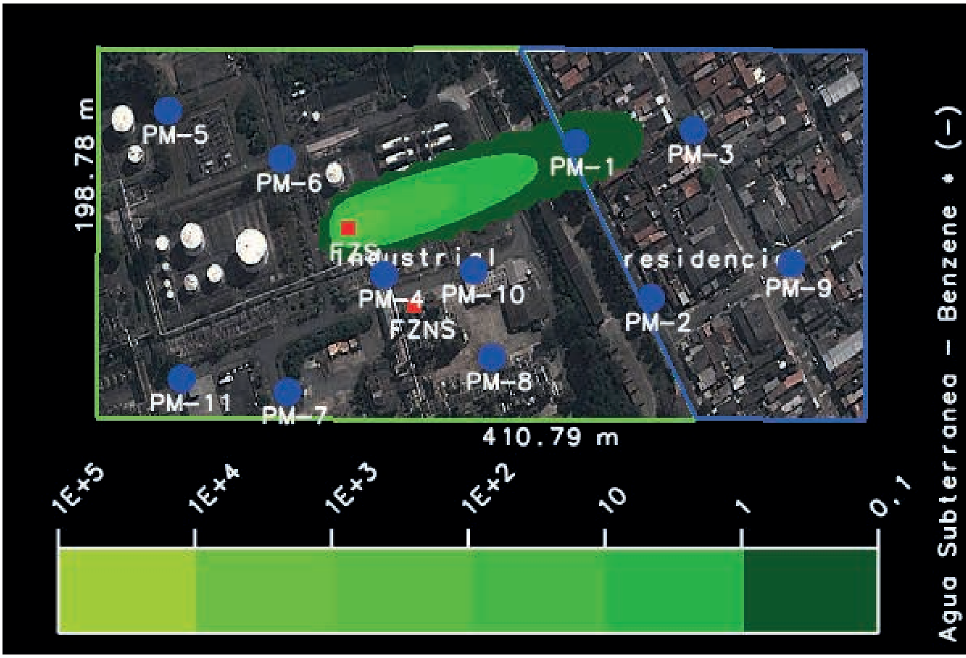


Figura 3.58 CMA para a concentração medida.

3.7 Tecnologias de Remediação

Na continuação das simulações usaremos três tecnologias de remediação: barreira linear associada ao bombeamento, definidos a partir do comportamento das plumas de Benzeno e cubagem de solo.

3.7.1 Barreira Linear e Bombeamento

No módulo ***Remediação***, a *Barreira Linear* pode ser inserida ou por meio da opção *Editar Barreiras Lineares* ou por meio do ícone ( ), localizado no painel de navegação. No entanto, para este exemplo será utilizado a opção *Editar Barreiras Lineares*, empregando os dados apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 Característica da barreira linear.

Nome	***Vértices***
Barreira	(348865,707345;7385729,31047); (348884,729427;7385726,3655); (348894,423874 ;7385693,876);(348867,43663;7385681,56143)

Em conjunto com a remediação por meio de barreiras lineares será inserido um poço de bombeamento, também por meio do módulo ***Remediação***, na opção *Bombeamentos*. Assim, como no caso da barreira linear, o bombeamento pode ser inserido ou por meio da

opção *Editar Bombeamentos*, acrescentando informação na forma de tabela, ou adicionar as informações por meio do ícone ( ). A caracterização do bombeamento apresentada na Tabela 3.9 pode ser inserida através da opção *Editar Bombeamentos.* Cabe destacar que uma vazão negativa indica que a água está sendo bombeada.

Tabela 3.9 Caracterização do bombeamento.

Nome	*Coordenada x (m)*	*Coordenada y (m)*	*Ativo*	*Vazão (L/s)*
Bomba	348880,754549	7385707,4579	True	-0,7

Após a adição das tecnologias associadas barreira-bomba, deve-se calcular a Pluma, através do ícone ( ) para atualização das simulações. Selecione os compostos para simulação, como por exemplo, a sustância química Benzeno (Figura 3.59).

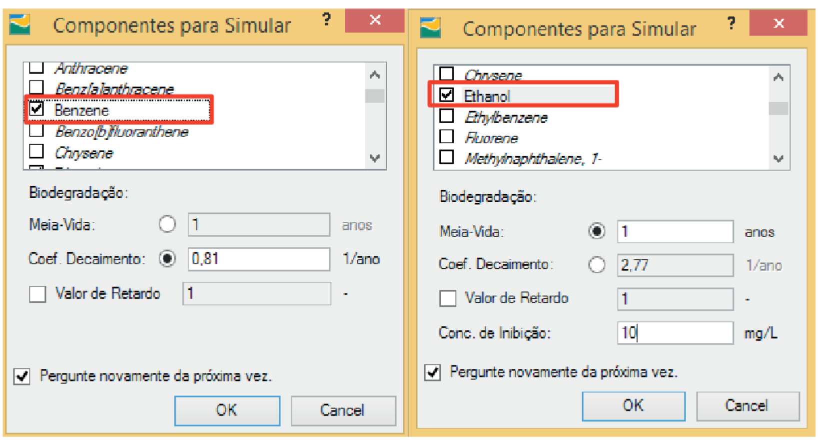


Figura 3.59 Substâncias químicas para a simulação da remediação.

No módulo ***Resultados***, através da barra do *Tempo de Simulação*, é possível visualizar o comportamento das plumas de contaminação na presença da barreira linear e do bombeamento.

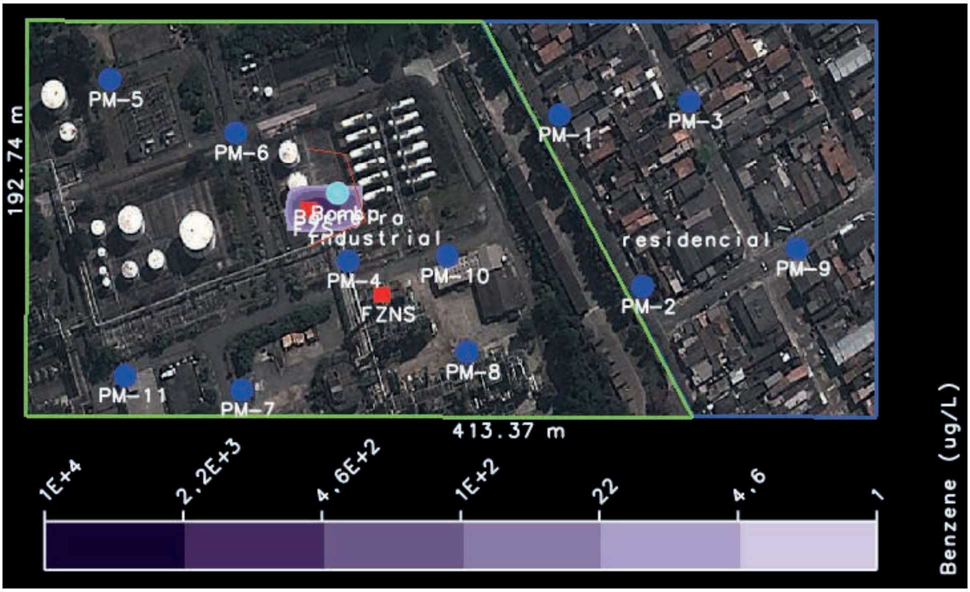


Figura 3.60 Pluma de benzeno em fase dissolvida em conjunto com as técnicas de remediação implementadas.

3.7.2 Cubagem

A Cubagem consiste na remoção do solo contaminado de uma determinada área, para futura disposição ou tratamento. O SCBR calcula o volume de solo contaminado, para que se possa dimensionar o tratamento a partir da massa de contaminantes ou calcular o volume de solo a ser disposto em aterro industrial. Neste exemplo, a estimativa de solo contaminado a ser removido será realizada a partir de concentrações de Benzeno e Tolueno amostradas no solo próximos à fonte da zona não saturada (FZNS).

A função Cubagem está localizada no módulo ***Remediação***, as informações da Cubagem podem ser inseridas a partir da opção *Editar Áreas de Cubagem* ou pelo ícone ( ). Neste exemplo, será optado por inserir a área de cubagem (Tabela 3.10) por meio da opção *Editar Áreas de Cubagem*.

Tabela 3.10 Caracterização da área de cubagem.

Nome	*Vértices*
CB	(348906,464916;7385662,22736); (348921,166698;7385662,22736); (348921,2005;7385644,85413); (348898,480088;7385644,90041); (348898,510165;7385653,81335); (348906,445886;7385653,93637)

O próximo passo após a delimitação da área da cubagem é selecionar as substâncias químicas que foram detectadas no solo. No módulo ***Remediação***, em *Área de Cubagem*, na aba *Configuração*, *Selecionar Substâncias Químicas*: Benzeno e Tolueno (Figura 3.61).

Após a seleção dos contaminantes a serem analisados, o usuário deve informar os valores das Meta de Remediação, informando também o tipo de uso do solo, o valor da meta de remediação e a norma utilizada na escolha da meta. Os valores utilizados neste exemplo foram obtidos na resolução CONAMA 420/2009, sendo estes 0,15 mg/kg para Benzeno e 75,0 mg/kg para Tolueno (Figura 3.61).

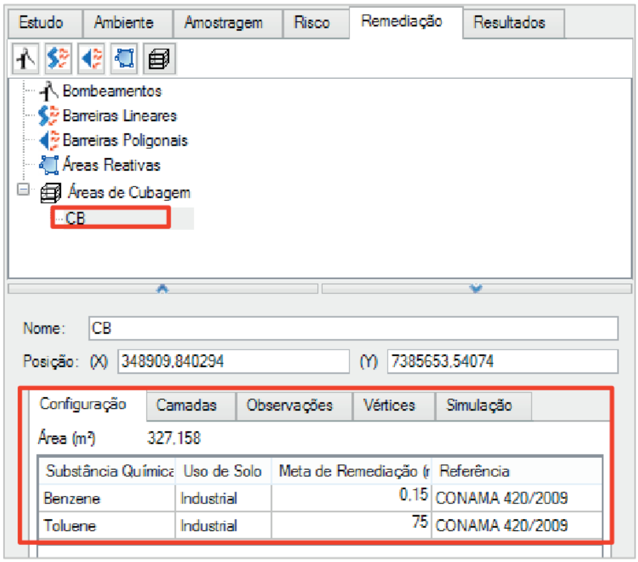


Figura 3.61 Concentração das substâncias químicas de interesse no solo.

Para inserir os pontos de sondagem, que foram utilizadas para determinar as concentrações das substâncias químicas de interesse, deve-se clicar em *Editar Pontos de Sondagem*, na aba *Configurações* (Figura 3.62). No editor de pontos deverão ser inseridas as coordenadas, a profundidade em que foi coletada a amostra e suas propriedades: massa específica ($g.cm^{-3}$), porosidade total (%), tipo de solo, fator de empolamento (-) e concentração do contaminante ($mg.Kg^{-1}$). Os valores utilizados para este exemplo encontram-se na Tabela 3.11.

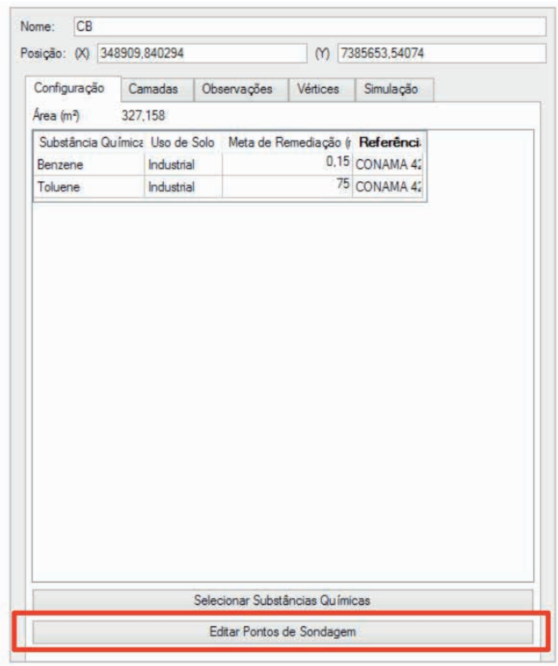


Figura 3.62 Editar os pontos de sondagem para a Cubagem.

Depois de definir os pontos de sondagem, o SCBR determina automaticamente o número de camadas de acordo com a profundidade em que foram feitas as análises do contaminante no solo. Na aba *Camadas*, as profundidades podem ser redefinidas, em espessura ou no número de camadas, acrescentando ou diminuindo (Figura 3.63).

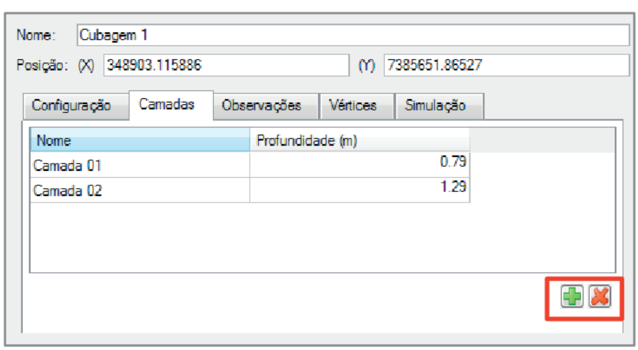


Figura 3.63 Número de camadas utilizadas para a Cubagem.

Tabela 3.11 Informação sobre as sondagens realizadas na área de estudo.

Sondagem	Posição x (m)	Posição y (m)	Amostra	Prof. (m)	Data	Dens. Solo (g/cm³)	Dens. Partícula (g/cm³)	Poros. Total (%)	*Tipo de Solo*	*Fator de Emp. do Solo*	*Benzeno (mg/kg)*	*Tolueno (mg/kg)*
SD_2	348919,15	7385656,19	B	0,89	03/2015	1,7	NA	1,4	silte	0,8	0,95	126
SD_3	348899,22	7385651,41	C	1,2	03/2015	1,7	NA	1,4	silte	0,8	1,1	152
SD_4	348911,420	7385648,46	D	0,7	03/2015	1,7	NA	1,4	silte	0,8	1,3	174
SD_1	348908,07	7385648,94	A	1	03/2015	1,7	NA	1,4	silte	0,8	0,78	98

Na aba *Simulação*, pode-se configurar o número de volumes de controle desejados e o método de interpolação a ser utilizado no cálculo da concentração. O número de volumes na direção i representa o número de volumes de controle no eixo nas abscissas e na direção j, o número de volumes de controle no eixo das ordenadas. O SCBR possui dois métodos de interpolação para o cálculo da concentração em cada volume de controle: inverso da distância ao quadrado e vizinho mais próximo. Recomenda-se optar pelo método que apresentar o menor erro quadrático médio (RMSE) do cálculo da concentração. Neste exemplo, utilizaremos 10 volumes de controle, tanto na direção x como na direção y e optaremos pelo método de interpolação do inverso da distância ao quadrado (Figura 3.64).

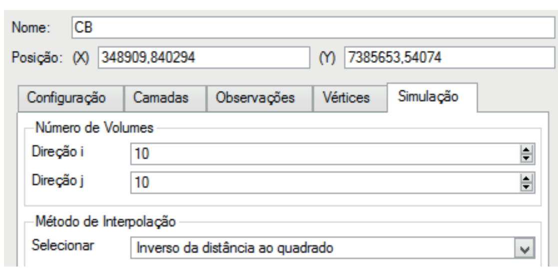


Figura 3.64 Configuração da Simulação de Cubagem.

Para a caracterização da cubagem, o usuário deve clicar no ícone ( ), localizado na barra de ferramentas e selecionar as substâncias químicas de interesse para serem simuladas: Benzeno e Tolueno.

No módulo ***Resultados***, na opção *Elementos de Remediação*, é possível visualizar a concentração máxima do contaminante, a massa total de solo como também o volume de solo solto que representa o volume de solo contaminado a ser destinado ou tratado (Figura 3.65).

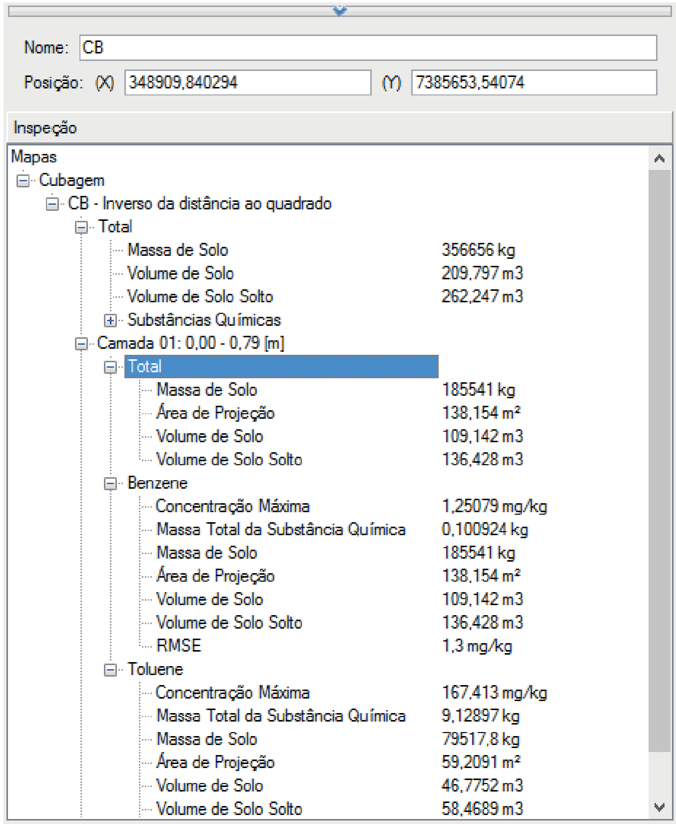


Figura 3.65 Resultado da Cubagem.

Ainda no módulo ***Resultados***, em mapas, no item *Cubagem*, é possível visualizar a localização da cubagem para cada uma das camadas e das concentrações das substância química de interesse, no solo, como mostrado nas Figuras 3.66, 3.67, 3.68 e 3.69.

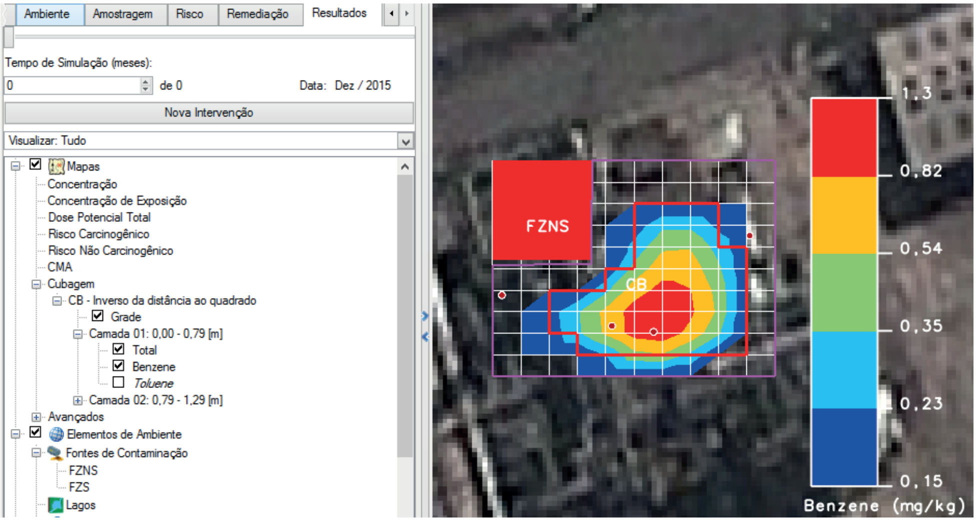


Figura 3.66 Cubagem da Substância química de interesse Benzeno na camada 01

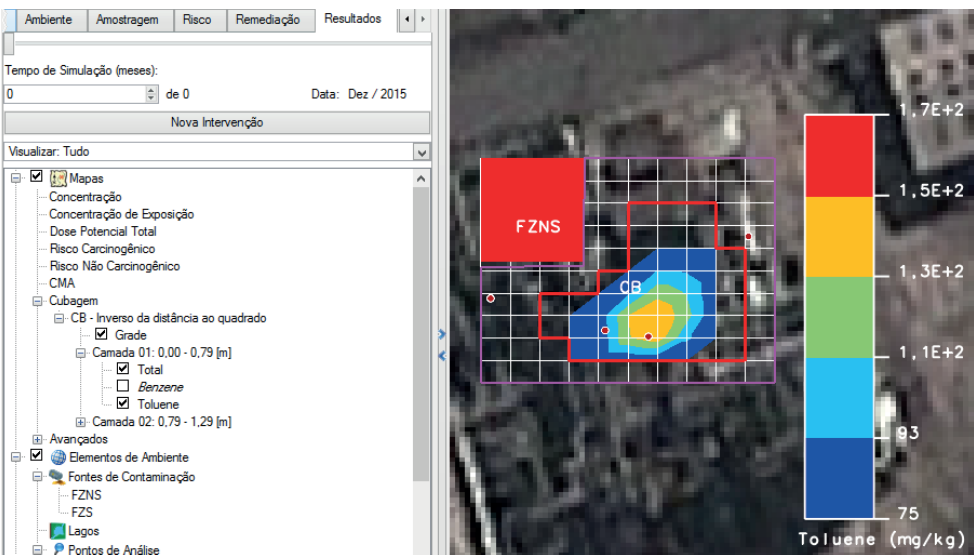


Figura 3.67 Cubagem da Substância química de interesse Tolueno na camada 01.

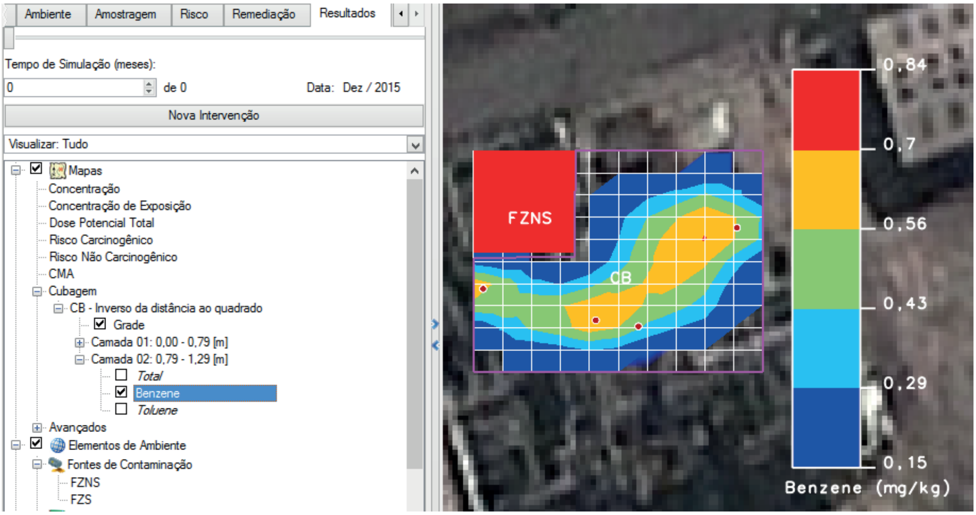


Figura 3.68 Cubagem da Substância química de interesse Benzeno na camada 02.

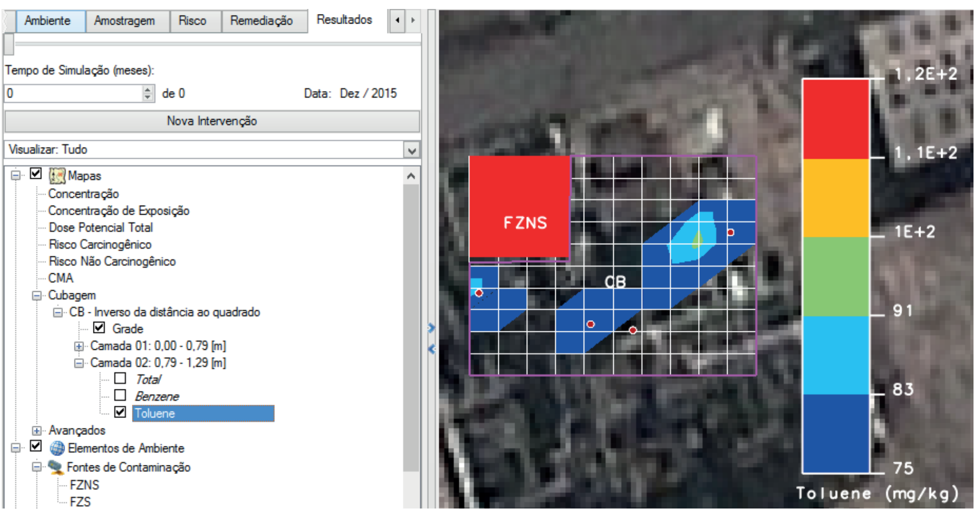


Figura 3.69 Cubagem da Substância química de interesse Tolueno na camada 02.

4. PERGUNTAS FREQUENTES

4.1. Por que o SCBR não está mantendo a informação digitada?

Ao adicionar ou editar uma informação em uma caixa de texto, a informação aparecerá em vermelho, como mostrado na Figura 4.1.



Figura 4.1 Informações adicionadas no SCBR.

É necessário teclar “TAB” ou “ENTER”, para a informação ser aceita no SCBR (Figura 4.2).



Figura 4.2 Informações adicionadas e aceitas no SCBR.

4.2. Qual a diferença entre a base de dados e a base de dados mestre?

O SCBR possui dois bancos de dados:

- a base de dados **mestre** é a base de dados que contém os dados padrão do programa SCBR e é o local onde o usuário deverá armazenar todos os parâmetros gerais;
- a base de dados **específico** (*Editar a base de dados como tabela*) do “arquivo.scbr” é o local onde o usuário deverá armazenar dados específicos da simulação.

Os dados salvos na base de dados **mestre** estarão disponíveis a todos os “arquivos.scbr” abertos no computador do usuário. Já os arquivos salvos na base de dados **específico** do arquivo estarão disponíveis somente para este arquivo (criado para simulação), independentes do computador em que for aberto. Ao criar uma nova simulação, o SCBR cria um banco de dados **do arquivo** similar à base de dados **mestre** existente no computador do usuário. Por padrão, a base de dados **mestre** do SCBR contém os principais compostos de interesse dos produtos Gasolina pura, Gasolina brasileira, Diesel e Álcool combustível.

4.3. As figuras do relatório não estão aparecendo corretamente?

A janela que gera um relatório não pode perder o foco. Isso significa que, se outro programa ou janela for aberto ou a proteção de tela for ativada, as figuras do relatório poderão não aparecer corretamente.

4.4. Por que toda vez que eu simulo uma pluma aparece a mensagem "Deverá haver pelo menos 3 pontos de análise com valores diferentes de Carga Hidráulica"?

As equações para o cálculo do campo de velocidades necessitam de pelo menos de três pontos com valores de diferentes Carga Hidráulica. Esta mensagem aparece quando você não informa a carga hidráulica em pelo menos três pontos de análise. Para resolver isto, insira mais pontos de análise ou verifique se a caixa de seleção ***Carga Hidráulica*** nos pontos de análise (módulo **Ambiente**) está ativa.

4.5. Por que ao incluirmos uma figura georreferenciada a mesma não aparece na área de visualização?

O SCBR utiliza a tecnologia OpenGL para a sua parte gráfica. Verifique se a sua placa de vídeo é compatível com esta tecnologia (as placas de vídeo mais atuais normalmente são compatíveis) e se possui suporte para OpenGL em hardware. Se a sua configuração estiver dentro das especificações, atualize os *drivers* da sua placa de vídeo para resolver este problema.

4.6. O que significa a mensagem "Erro nos limites de velocidade obtidos" (Figura 4.3)?

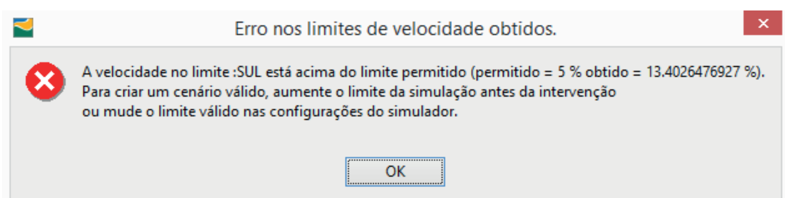


Figura 4.3 Mensagem de Erro na simulação da velocidade no SCBR.

Ao simular o campo potenciométrico, o SCBR atribui valores para o contorno a partir dos dados fornecidos de carga hidráulica dos pontos de análise, áreas de análise, rios e lagos. Quando a simulação (após uma intervenção) contém um bombeamento com vazão suficientemente grande para alterar as condições de carga hidráulica do contorno, o SCBR mostra esta mensagem de erro para alertar que o bombeamento alterou as condições de contorno e, possivelmente, o resultado da simulação não é válido.

Para contornar este problema, existem duas possibilidades:

- Aumentar a área simulada para minimizar a influência do cone de bombeamento/ injeção no contorno do domínio;
- Aumentar o valor da ***Validação da Intervenção (%)*** nas ***Configurações do Simulador;***

4.7. Por que quando utilizo o “Assistente de Simulação da Pluma em Água Subterrânea” ou tento adicionar pontos ou área de análise pelo editor de tabela aparece esta mensagem (Figura 4.4)?

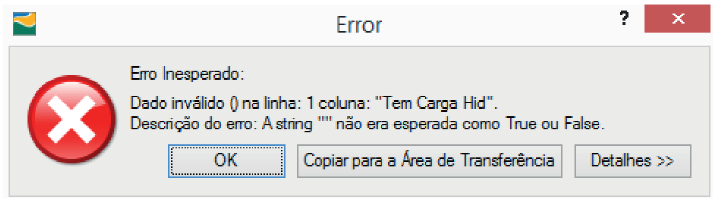


Figura 4.4 Mensagem de erro na simulação da velocidade e do transporte a partir do editor de tabelas

No ***editor de tabela***, as colunas “Tem Carga Hid”, “Tem Poros Ef.”, “Tem Cond. Hid.” e “*Têm Dados no Solo*” são variáveis do tipo booleana e elas precisam, obrigatoriamente, estar preenchidas com o valor “**true**”, quando houver dados para aquele ponto ou área de análise, ou “**false**”, para quando não houver dados para aquele ponto ou área de análise.

4.8. O que é uma intervenção? Por que o SCBR cria um arquivo novo quando ocorre uma intervenção?

Intervenção é uma ferramenta que permite testar ações que alteram o cenário simulado, em um momento posterior ao início do derramamento. Uma simulação pode, por exemplo, testar o resultado ou a eficiência das seguintes ações:

- Bombeamento;
- Barreira;
- Remediação ativa (áreas reativas);
- Redução de massa na fonte;
- Alteração das taxas de biodegradação.

Quando uma intervenção é gerada, o SCBR cria um arquivo novo mantendo a simulação inicial até o período onde foi feita a intervenção. Ao simular o cenário da intervenção, as alterações feitas só surtirão efeito para os momentos posteriores a esta intervenção.

Para escolher o passo temporal onde será realizada a intervenção (Figura 4.5), deve-se acessar o módulo ***Resultados*** e rolar a barra “***Tempo de simulação***” até a data desejada.

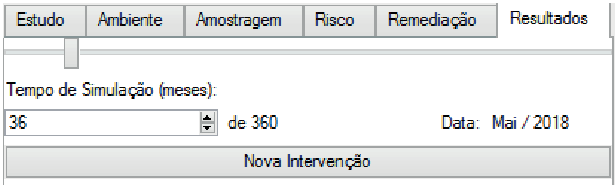


Figura 4.5 Passo temporal no SCBR.

O SCBR simula metais a partir de valores de concentrações medidas no aquífero. Desta forma, utilize a opção ***Concentração Medida,*** no módulo ***Ambiente***, por meio da aba ***Outros Modelos***.

4.9. O que significa o aviso de não convergência (Figura 4.6)?

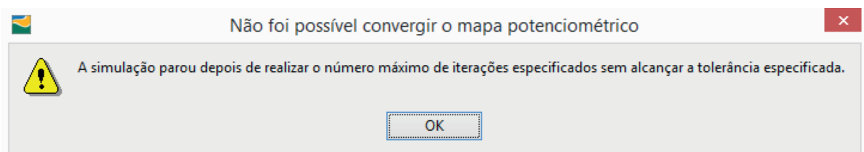


Figura 4.6 Aviso de convergência na simulação da velocidade da água subterrânea no SCBR.

Existem dois critérios para a interrupção de uma simulação: o limite de iterações ou a tolerância. O aviso de não convergência significa que após realizar o número máximo de iterações especificado pelo ***limite de iterações*** nas ***configurações do simulador***, o SCBR não conseguiu criar um mapa potenciométrico dentro da tolerância adotada. Isso pode significar que o resultado do campo potenciométrico não é confiável.

No menu ***Configurar Simulador*** pode-se aumentar o **limite de iterações**, diminuir a tolerância e utilizar o método Newton-Raphson para ajudar a solucionar este problema.

Em casos de bombeamento, esta mensagem pode aparecer quando a vazão bombeada é demasiadamente grande para o cenário simulado. Quando isso ocorrer, verifique se a cota base do aquífero, a condutividade hidráulica, a porosidade efetiva e as cargas hidráulicas estão corretas e se a situação simulada é fisicamente coerente.

4.10. Qual a utilidade dos marcadores gráficos?

Os marcadores gráficos são ferramentas que servem para indicar uma região de interesse no mapa. Podem ser utilizados, por exemplo, para indicar alguma área de interesse (exemplo: escola, hospital etc.).

4.11. Rios, lagos, pontos, áreas de análise ou linhas de análise fora da área de simulação influenciam o resultado do campo potenciométrico?

Sim. Rios, lagos, pontos ou área de análise, mesmo localizados fora do domínio, são considerados condições de contorno e, portanto, influenciarão o resultado do campo potenciométrico.

4.12. Quando utilizar o modelo de fonte "Sat./Lei de Raoult" e o modelo de fonte "Concentração Medida" na zona saturada?

O modelo de fonte *Sat./Lei de Raoul* é recomendado para simulações em casos preventivos quando, a partir de volumes conhecidos de fontes (produtos ou compostos puros), tem-se como objetivo estimar o transporte e transformação dos contaminantes em caso de vazamentos, e consequentemente, a extensão da contaminação. Neste modelo, o SCBR estima a concentração máxima que sai da fonte por meio da solubilidade em água para as substâncias químicas por meio da *Lei de Raoult*, considerando o efeito da cossolvência do etanol sobre as substâncias químicas.

O modelo de fonte *Concentração Medida* é indicado para áreas contaminadas com metais, ou em situações onde se conheça a concentração de saída da fonte. Neste modelo, o SCBR considera que a concentração que sai da fonte é igual à concentração medida informada pelo usuário e ela é fixa até o esgotamento da fonte. Para maiores detalhes consultar Manual de Referências Técnicas.

4.13. Minha simulação apresentou um resultado estranho que não me parece real. A mensagem de erro da Figura 4.7 apareceu. O que está acontecendo?

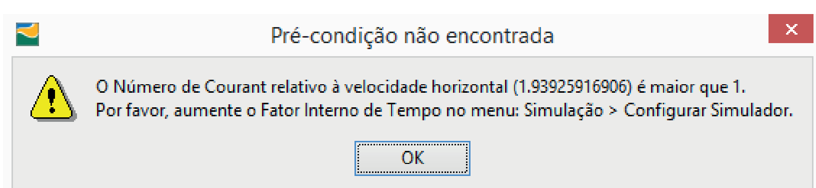


Figura 4.7 Mensagem de aviso da pré-condição estabelecida no SCBR.

O número de *Courant* é a razão entre a velocidade de advecção e os termos dependentes do tempo na equação de transporte. O número de *Courant* (Cr) é dado por:

$$Cr = \frac{U\Delta t}{L}$$

Onde, L é o comprimento da célula;
U é a velocidade média da água subterrânea;
Δt é o tempo de cada passo temporal.

Para garantir a estabilidade da simulação, o número de *Courant* deverá ser inferior a 1. Recomenda-se aumentar o fator interno de tempo no menu ***Simulação*** -> ***Configurar Simulador.***

4.14. O que significa a mensagem de erro da Figura 4.8: "Não é possível calcular as velocidades porque o valor da cota de base do aquífero é maior que o valor do potencial hidráulico do ponto de análise"?

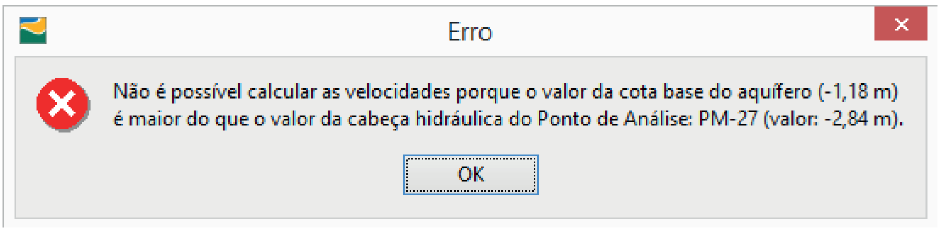


Figura 4.8 Mensagem de erro da cota base do aquífero.

Esta mensagem significa que o valor da cota de ***carga hidráulica*** informada em algum ***ponto de análise*** é inferior à ***cota base do aquífero***. Os valores da ***cota base do aquífero*** e dos ***pontos de análise*** devem ser verificados.

4.15. Por que quando se adiciona um elemento "rio", o mapa potenciométrico apresenta valores extremamente baixos de carga hidráulica?

Cada vértice de um elemento "***rio"*** possui um valor de ***nível d'água*** (por default no valor igual a 1) que será utilizado como condição de contorno. Portanto, ao criar-se um elemento ***rio*** é necessário informar o valor correto de cada vértice. Para isso, selecione o vértice na ***área de simulação*** e insira o valor no ***painel de edição.***

4.16. Estou tentando calcular o risco. Após criar um objeto "Unidade de exposição", a única opção para unidade de exposição é "Unidade de exposição não informada". Por quê?

O SCBR possui uma interface de cálculo de risco flexível que permite a utilização de diversas metodologias de risco diferentes. Como cada norma pode definir diferentes tipos de unidades de exposição, é necessário primeiramente definir qual norma pretende-se utilizar. Para isso, selecione a opção ***Configuração do Risco*** no **Painel de Navegação** e defina qual é a norma a ser utilizada (Figura 4.9).

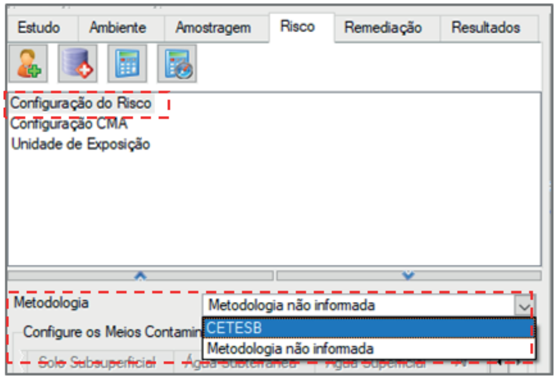


Figura 4.9 Configuração para a simulação do Risco no SCBR.

4.17. É possível editar as escalas dos mapas de risco? Como funciona o limite de corte para mapas de risco?

Os mapas de risco apresentam suas escalas editáveis, mas por padrão (*default*) a escala varia em log de 10 entre 10^{-6} (limite mínimo) e 10^{+0} (limite máximo) para risco carcinogênico, e 10^{-4} (limite mínimo) e 10^{+2} (limite máximo) para risco não carcinogênico.

O limite de corte para os mapas do risco obedece ao valor presente na função ***"Valor de Corte*** *(-)"*, como mostrado na Figura 4.10. Por *default* o SCBR vem com os valores de 10^{-6} para o risco carcinogênico e valor de 1 para o risco não carcinogênico. Cabe ressaltar que os valores de corte também são editáveis e o mapa é então atualizado, ou seja, exibindo os valores que estão acima do valor de corte inserido (Figura 4.10).

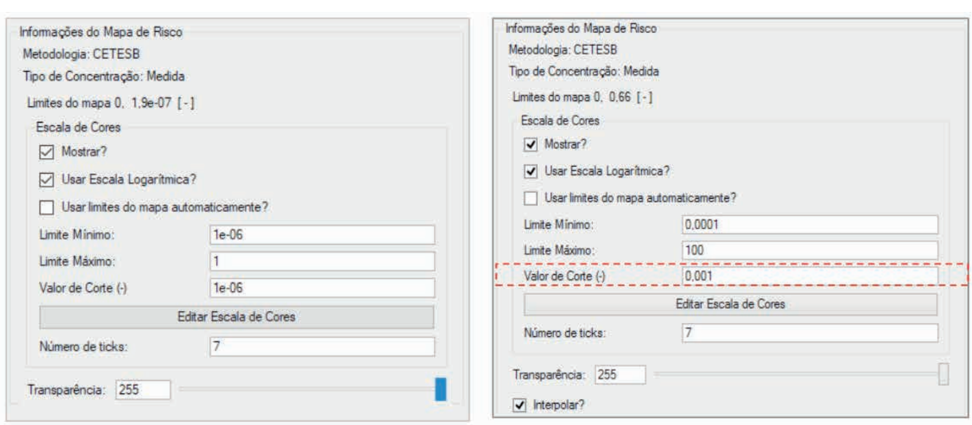


Figura 4.10 Edição de escala nos mapas de resultado do Risco.

4.18. Como o valor calculado pela Lei de Raoult entra na solução da equação do transporte?

A equação do transporte possui um termo fonte/sumidouro (chamado termo de geração) para cada célula (volume de controle), que é utilizado quando há injeção de contaminante (fontes) ou saída de contaminante (bombeamento). A concentração calculada pela Lei de Raoult para misturas multicomponentes entra no termo de geração. Para maiores detalhes, consultar o Manual de Referências Técnicas.

Guia do Usuário

SCBR

Solução Corretiva Baseada no Risco

Versão 3.25

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

PETROBRAS
anp Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
UFSC
rema NÚCLEO RESSACADA DE PESQUISAS EM MEIO AMBIENTE
Atena Editora
Ano 2024

Guia do Usuário

SCBR

Solução Corretiva Baseada no Risco

Versão 3.25

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

PETROBRAS

anp Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

UFSC

rema NÚCLEO RESSACADA DE PESQUISAS EM MEIO AMBIENTE

Atena Editora

Ano 2024